© GETTY IMAGES /MAX PLANCK INSTITUTE
SPL/PHANIE - SPL/GE FOTOSTOCK - PHOTOS/SPACEX
M.A.GARLICK - PASIEKA/SPL/PHANIE - ATLAS

SCIENCES ET AVENIR

sciencesetavenir.fr

SAUVER LES OCÉANS p.84

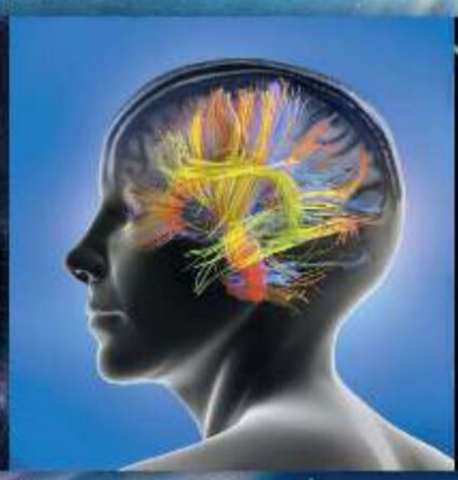
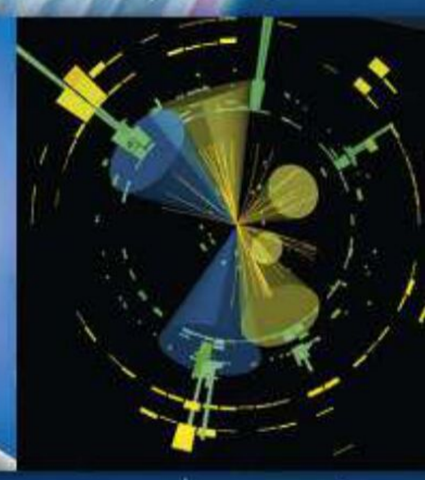
LA RUÉE VERS MARS p.10

XXIe siècle

LES NOUVELLES DÉCOUVERTES

p.30

☑ Cosmologie ☑ Physique ☑ Santé
☑ Préhistoire ☑ Nature...

+ QUIZ de L'ÉTÉ
Votre niveau en sciences

L 13418 - 881 - F: 6,50 € - RD

JUILLET-AOÛT 2020 - N° 881 - 882 ALLEMAGNE 8 € / BELGIQUE 7,10 € / GRÈCE 7,40 € / ESPAGNE 7,40 € / ITALIE 7,40 € / AUTRICHE 7,50 € / DOM 7,10 € / ANDORRE 6,70 €
LUXEMBOURG 7,10 € / PORTUGAL 7,40 € / TOM(S) 980 XPF / TOM (AVION) 1790 XPF / SUISSE 10,90 CHF / TUNISIE 9,90 TND / MAROC 65 DH / CANADA 10,49 $CAN

SCIENCES ET AVENIR - N° 881-882 - JUILLET-AOUT 2020 - XXIe SIÈCLE : LES NOUVELLES DÉCOUVERTES

SOLGAR

Since 1947

Solgardez votre beauté !

Le flacon d'or Solgar contient des nutriments et du zinc pour la beauté de la peau, des ongles et des cheveux. Dans cette formule spécifique, le zinc est associé à des acides aminés, des minéraux et de la vitamine C.

En pharmacies et magasins de diététique.

Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour. www.mangerbouger.fr

solgar.fr

ÉDITO

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

BERNARD MARTINEZ

Nouveau monde

Vingt ans déjà pour le nouveau siècle et une pandémie qui restera dans l'histoire. À l'occasion de ce numéro de *Sciences et Avenir* consacré aux « nouvelles découvertes » du XXIe siècle, on serait tenté de qualifier le Covid-19 d'intempestive... « redécouverte »! Celle d'une maladie capable de faire le tour de la planète et condamner moult humains, comme cela s'est produit à répétition au cours des millénaires. Seulement voilà, l'infection par coronavirus *(p. 92)*, quoique moins fatale que la peste ou le choléra, s'est propagée à une vitesse jamais vue, qui continue de stupéfier les spécialistes. Et nul ne sait prédire quand elle s'arrêtera. Le plus tôt serait le mieux, sachant qu'éliminer le pathogène disruptif requiert intelligence et organisation. Intelligence dans les comportements (porter des masques, respecter les fameux « gestes barrières »...) afin de *« casser les chaînes de contamination »*. Intelligence en science, avec pour objectif l'élaboration d'un vaccin. Dans la course engagée au niveau international vont se mêler découverte — les caractéristiques intimes du coronavirus, son origine, ses gènes, ses spicules — et invention. Selon les laboratoires, les chercheurs élaborent en effet toutes sortes de méthodes vaccinales différentes. Le philosophe Hartmut Rosa, qui poursuit une réflexion sur la marche du monde, explique à *Sciences et Avenir (p. 32)* n'avoir pas été surpris du surgissement de cette pandémie. Nombre de spécialistes l'avaient, de fait, pronostiquée, même s'il était impossible d'en prévoir la date. Mais ce qui intéresse vraiment le penseur allemand est ailleurs, dans le constat que cette *« crise a brisé les vastes chaînes d'interaction globales permettant à la société moderne de fonctionner »*. Elle l'a ralentie. L'humanité en tirera-t-elle une leçon contre les catastrophes? Connaîtra-t-elle une accélération de son intelligence du monde? Rien n'est moins sûr, estime-t-il, lui qui redoute un effondrement écologique. Pendant ce temps, les scientifiques continuent d'ausculter l'infiniment grand, l'infiniment petit et l'infiniment complexe*. Et ce qu'ils y voient, au bout des télescopes comme sous l'œil du microscope, ne cesse d'émerveiller. C'est le cas avec la détection des ondes gravitationnelles *(p. 34)*, nées de la coalescence de trous noirs ou d'étoiles à neutrons, qui a exigé une inventivité hors pair. Dans la foulée, émerge la possibilité d'une toute nouvelle astronomie. Qu'on se rassure, les 36 pages de ce dossier d'été ne se déroulent pas uniquement au fin fond du cosmos. Les découvertes ont aussi lieu au plus profond de nous-mêmes, tel ce « nouveau monde » qu'est le microbiote *(p. 54)*. Ou alors dans l'arrivée inopinée de quatre cousins préhistoriques, resurgis à la faveur de fouilles, tels des fantômes familiers *(p. 42)*. Des inconnus qui pointent le nez comme pour nous adjurer, nous *H. sapiens*, d'apprécier l'extraordinaire saga de notre vie sur la planète Terre. ■

@dominiqueleglu

* Lire aussi « L'infini », le dernier hors-série, nº 202, de *Sciences et Avenir*, en kiosque tout l'été.

SCIENCES ET AVENIR

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteur(trices) en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédacteur(trices) en chef adjoint(e)s
Andreina DE BEI (photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (pôle digital) - 01.55.35.56.39
Mathieu NOWAK (actualités - rendez-vous) 01.55.35.56.38

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chef(fe)s de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07

Chef de service adjoint
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Cheffe de rubrique
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 - Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03
Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs(trices)
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN

Ont participé à ce numéro
Marine BENOIT, Héloïse CHAPUIS, Jean-François HAÏT, Pierre KALDY, Coralie LEMKE, Hugo RUHER, Sylviane SAVATIER, Muriel de VÉRICOURT

Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Pôle digital
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Camille GAUBERT (rédactrice santé) - 01.55.35.56.24
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

Fabrication
Christophe PERRUSSON

Publicité
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale :
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir
4, rue de Mouchy 60438 Noailles cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €.
Tarifs pays étrangers sur demande.

Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

Directeur de publicité :
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

Assistante commerciale :
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

Exécution :
Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05

Administration des ventes :
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Directeur commercial :
Valéry SOURIEAU

Partenariat:
Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99

Directeur des abonnements
Luc BONARDI

Responsable des abonnements
Lina QUACH 01.55.35.56.63

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : **Claude PERDRIEL**
Secrétaire général :
Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia : Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.

PEFC 10-31-3364
PEFC recyclé
Ce produit est issu de sources recyclées et contrôlées.
pefc-france.org

Origine du papier : Italie
Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC

OJD DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend : 1 encart OBS et 1 message L'Histoire jetés sur couverture en diffusion partielle des abonnés.
Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

NOUVEAUTÉ 2021

Photos de gauche à droite :

Sylvain Mahuzier
Guide naturaliste

Jean-Charles Thillays
Directeur de croisière

© Jean Couedel

Renvoyez ce coupon à Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| E-mail : .....

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant. *Pour toute nouvelle réservation ** Se référer à la brochure pour le détail des prestations et les conditions générales de vente. Les conférenciers seront présents sauf cas de force majeure. Licence n° IM075150063. Photos : © AdobeStock, © Iceland Pro et © Croisières d'exception.

sa-2007-2106-ISLANDE1

L'***Ocean Diamond*** (100 cabines)

CROISIÈRE

Islande, Terre de feu et de glace

Du 14 au 23 juin 2021

Chutes Godafoss - Islande

En **juin 2021**, partez à la découverte des contrastes fascinants de l'Islande, entre **fjords, volcans, cascades, glaciers, geysers**… Cette terre magique offre la vision d'un spectacle inoubliable, celui d'un **monde à l'état brut**, refuge merveilleux pour une multitude d'**animaux terrestres et marins**. Vous serez accompagné de **Sylvain Mahuzier** et de **Jean-Charles Thillays**, guides et conférenciers passionnés qui vous dévoileront les secrets de ces **décors grandioses**, mis en lumière par le **soleil d'été**.

Autre départ possible : du 23 juin au 2 juillet 2021

Garantie Sérénité*

Acompte de **10% seulement** - Annulation sans cause **jusqu'au 30 sept. 2020** pour toute réservation **avant le 31 juillet 2020.**

OFFRE SPÉCIALE **Réduction de 500 €/pers.** pour toute réservation avant le 31 août 2020 (code REVE) soit la croisière à partir de ~~5 490 €~~ **4 990 €/pers.**** au départ de Paris

* Vols depuis Paris, pension complète, boissons (sélection), conférences et taxes inclus. Départ de province possible : nous consulter.

Demandez la brochure au **01 75 77 87 48**, par e-mail à contact@croisieres-exception.fr ou sur www.croisieres-exception.fr/brochures (code **SAILA** à renseigner), ou dans votre agence de voyages habituelle.

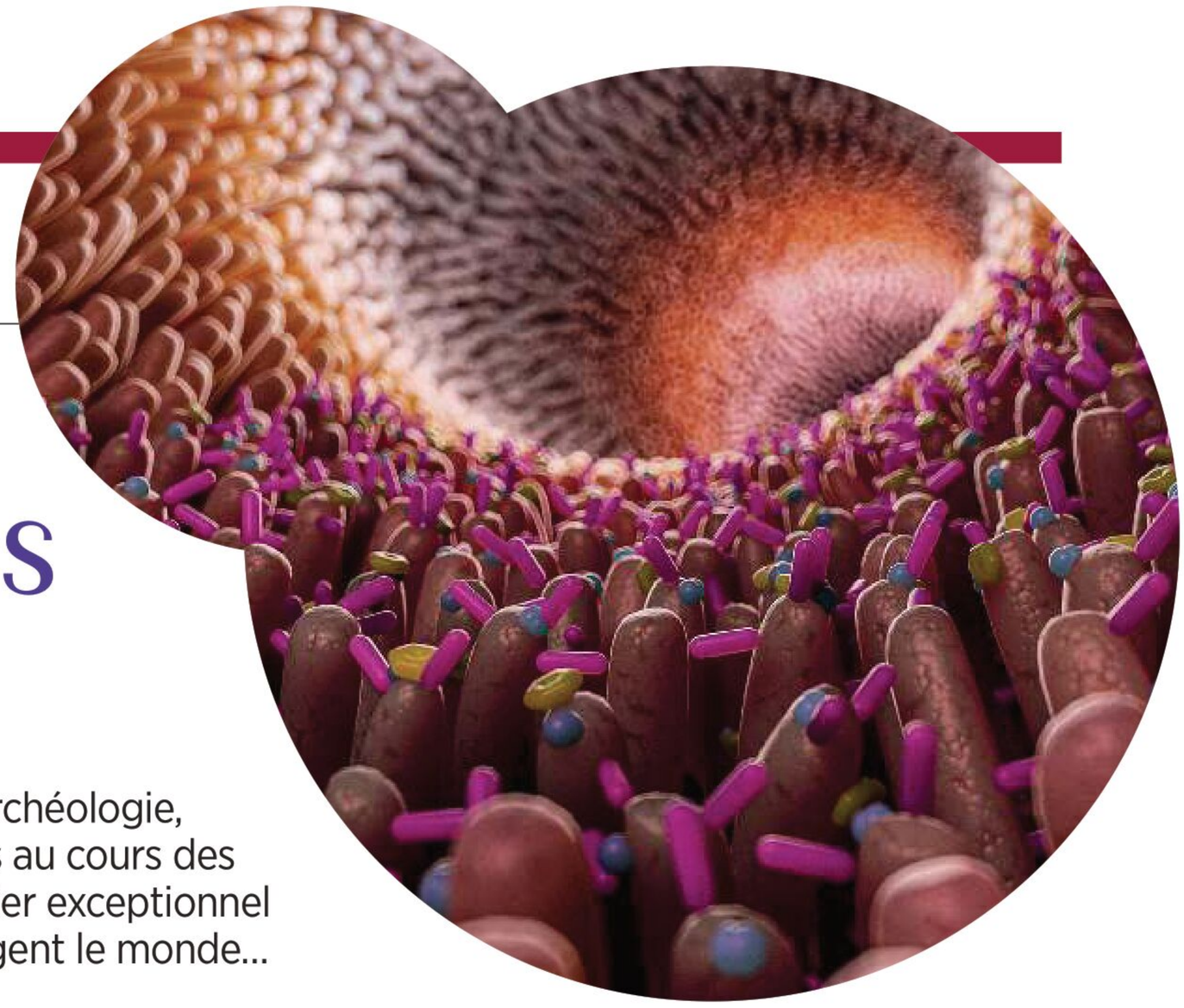
Croisières d'exception

S'enrichir de la beauté du monde

SOLDES
Chaussures détente
Dès
89€ 69€
Vous avez le sens de l'étiquette.
Bexley
Bien sûr, vous avez bon goût. Le bon goût de ne jamais faire de faute de goût quelle que soit l'occasion. Et pour ne jamais commettre d'impair vous choisissez Bexley et ses modèles assurément dans les bons codes de l'élégance, de ce qui fait l'étiquette dans toutes sociétés. Mais là où vous excellez en matière de bon goût, c'est que vous avez l'intelligence de ne pas y laisser votre chemise, de mettre le bon prix, le prix de l'exigence, de l'excellence des matières, des savoir-faire français et c'est aussi ça, avoir le sens de l'étiquette.
Nos boutiques
#lesensdeletiquette | Bexley.fr
AIX-EN-PROVENCE I ANNECY I BORDEAUX I PARLY 2 - LE CHESNAY I LILLE I LYON 1ER I LYON 2ÈME I LYON 6ÈME I MARSEILLE I NANTES I NICE I PARIS 4ÈME - HENRI IV I PARIS 6ÈME - SAINT GERMAIN I PARIS 7ÈME - RASPAIL I PARIS 8ÈME - CHAUVEAU LAGARDE I PARIS 8ÈME - CHAMPS ÉLYSÉES I PARIS 8ÈME - LA BOÉTIE I PARIS 15ÈME - VAUGIRARD I PARIS 17ÈME - PALAIS DES CONGRÈS I PARIS - LA DEFENSE I TOULOUSE I STRASBOURG I BRUXELLES

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - n° 881/882 - Juillet/Août 2020



DOSSIER P. 30

Les découvertes du XXIe siècle

Cosmologie, génétique, botanique, médecine, archéologie, numérique..., les découvertes se sont multipliées au cours des vingt dernières années. Retrouvez dans un dossier exceptionnel de 36 pages, ces ruptures et avancées qui changent le monde...

3 **Édito** par Dominique Leglu

7 **Courrier**

ÉVÉNEMENT

10 **10 milliards de dollars pour des échantillons de sol martien**

SCIENCES FONDAMENTALES

14 **ACTUALITÉS** / Attention, le Soleil se réveille / L'origine des bulles de Fermi dévoilée / Un taxi privé s'est arrimé à l'ISS

66 **La course aux diamants géants**

70 **Hubble, 30 ans à scruter l'Univers**

73 **Astéroïde : le scénario du pire pour les dinosaures**

74 **Pourquoi « Le Cri » perd ses couleurs**

HISTOIRE

16 **ACTUALITÉS** / Les Mayas voyaient grand / Record d'empreintes préhistoriques en Afrique / Des traces de cannabis dans un sanctuaire

76 **Statues déboulonnées : cinq chercheurs analysent les raisons de la colère**

80 **Le sauvetage numérique des stèles akwanshis du Nigeria**

83 **L'ADN des manuscrits de la mer Morte a parlé**

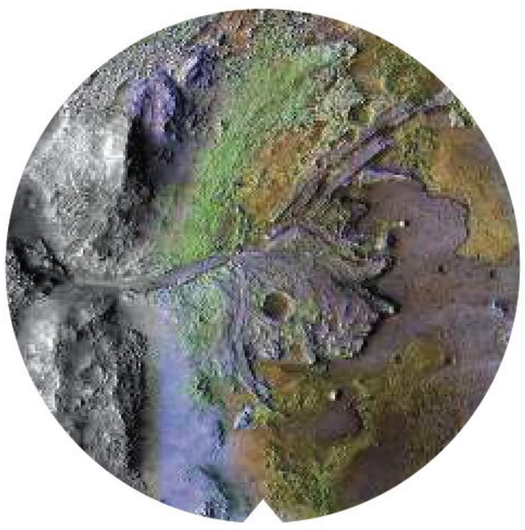
NATURE

20 **ACTUALITÉS** / Des tsunamis menacent la future capitale indonésienne / Du gaz hilarant émane des excréments des manchots / Le grand requin blanc ne chasse pas qu'en surface

84 **Cinq pistes pour faire renaître les océans**

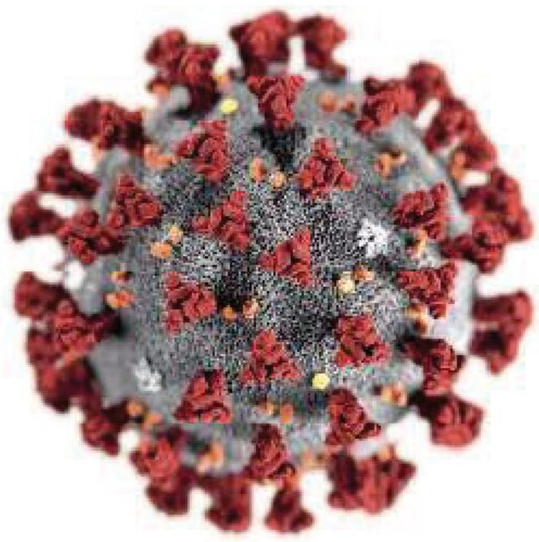
88 **Le chocolat veut redorer sa fève**

91 **Les escargots « gauches » naissent du hasard**



Exploration de Mars : l'ambitieuse mission de retour d'échantillons sur Terre. **p. 10**

Pour restaurer la vie marine, cinq exemples de mesures qui ont fait leurs preuves. **p. 84**



Pandémie de Covid-19, les premières leçons scientifiques **p. 92**

SANTÉ

24 **ACTUALITÉS** / Le nez a aussi son microbiote / Ils ont fait pousser de la peau avec des poils / Le premier « village Alzheimer » français a ouvert

92 **Les sept leçons du Covid-19**

98 **Nutrition : faut-il cesser de manger de la viande ?**

100 **Les nouveaux neurones mémorisent pendant le sommeil**

102 **Le cœur a son propre « cerveau »**

HIGH-TECH

28 **ACTUALITÉS**/ Un « Wi-Fi » pour rester connecté en plongée / Tous les goûts sont dans la sucette / Un robot fort de café

106 **La simulation du toucher s'affine**

110 **La France prépare la guerre aérienne du futur**

113 **L'œil bionique prêt à surpasser la vision humaine**

114 **Crew Dragon réinvente le vol habité**

116 **Comment ça marche : des détecteurs de fumée pour crier au feu !**

RENDEZ-VOUS

118 **Les ciels de juillet et d'août**

122 **Livres**

125 **Questions de lecteurs**

126 **Les expos de l'été**

128 **Décryptage : Pourquoi le confinement n'a-t-il pas fait baisser davantage la pollution ?**

130 **L'info en continu sur sciencesetavenir.fr**

SCIENCE PHOTO LIBRARY - NASA/JPL-CALTECH/ASU - FABRICE GUÉRIN/ BIOSPHOTO - PHANIE

Une ambiance maîtrisée.

Nouvelle Golf avec ‘Ambient Light’.

Prolonger un rendez-vous bien commencé, motiver ses passagers pour une nuit de folie ou bercer ceux dont les paupières s’alourdissent… à chaque ambiance sa couleur avec l’éclairage d’intérieur ‘Ambient Light’ et ses 30 nuances. Car être au volant, c’est aussi veiller sur ce qu’il se passe dans la voiture. C’est ça, **la vie en Golf.**

La vie en Golf.

Cycles mixtes de la gamme Golf (l/100 km) WLTP : 3,7-6,8. Rejets de CO_2 (g/km) WLTP : 98,9-154,4. CO_2 carte grise : 87-103. Valeurs au 20/01/2020, susceptibles d’évolution. Pour plus d’informations, contactez votre Partenaire. À partir du 1er septembre 2017, certains véhicules neufs sont réceptionnés sur la base de la procédure d’essai harmonisée au niveau mondial pour les véhicules légers (WLTP), procédure d’essai plus réaliste permettant de mesurer la consommation de carburant et les émissions de CO_2. À partir du 1er septembre 2018, la procédure WLTP remplace complètement le nouveau cycle européen de conduite (NEDC), procédure d’essai utilisée précédemment. Les conditions d’essai étant plus réalistes, la consommation de carburant et les émissions de CO_2 mesurées selon la procédure WLTP sont, dans de nombreux cas, plus élevées que celles mesurées selon la procédure NEDC. **Véhicule en stationnement.**

Volkswagen Group France – S.A. au capital de 198 502 510 € – 11, av. de Boursonne, Villers-Cotterêts – RCS Soissons 832 277 370.

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

Le casse-tête des sursauts radio rapides

(*Sciences et Avenir* n° 878, avril 2020)

Votre article sur les sursauts gamma rapides m'a beaucoup intéressé. Jusqu'à une époque récente, on pensait que ces sursauts courts, très énergétiques, n'étaient pas répétitifs. Votre article fait état de deux signaux répétitifs. Peut-on rapprocher ces phénomènes de l'émission des pulsars, que vous ne citez à aucun moment ?

Jean-Louis Michau

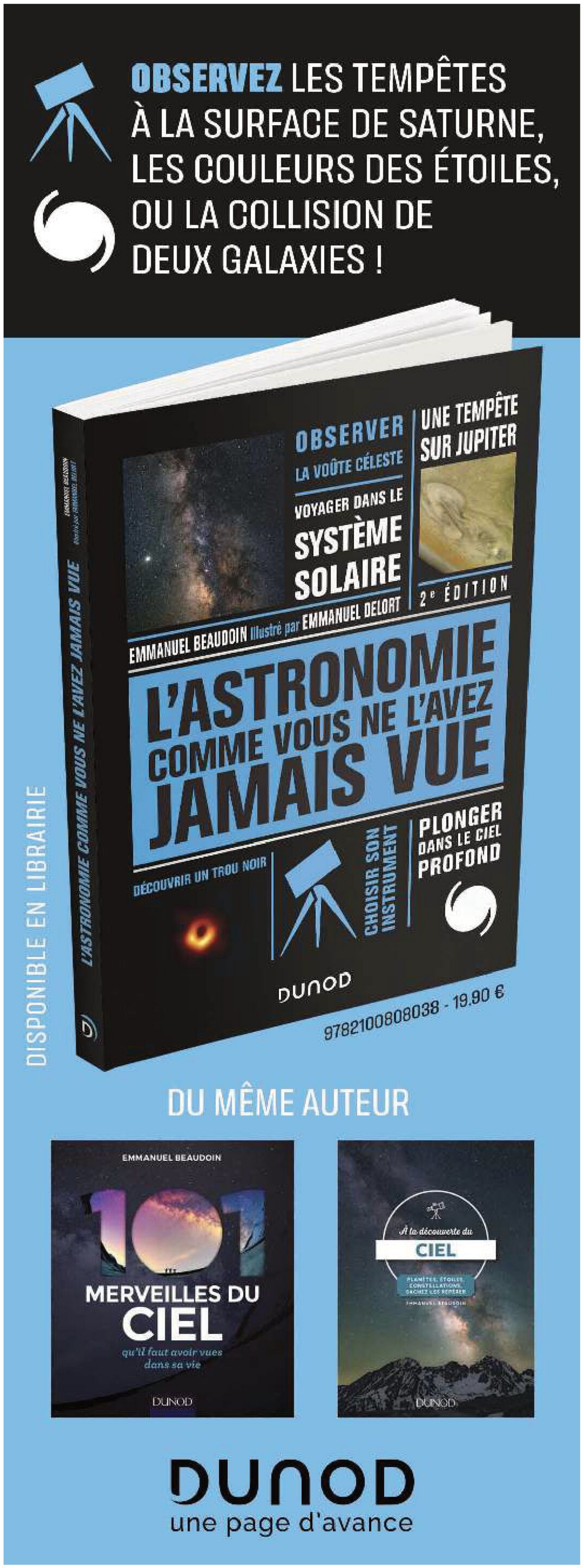
S. et A. : Les sursauts radio (et non gamma qui existent aussi) rapides (FRB) pourraient provenir d'étoiles à neutrons. Et effectivement les pulsars sont des étoiles à neutrons mais leurs signaux sont beaucoup plus réguliers que ceux des FRB et liés à leur période de rotation (comme un phare). À notre connaissance, on n'a jamais détecté un pulsar dans la direction d'un FRB, mais cela n'exclut pas *a priori* que des pulsars qui n'envoient pas leurs signaux dans notre direction (et donc que l'on ne verrait pas pulser) ne puissent pas participer au phénomène des FRB. Impossible toutefois de le dire dans l'état actuel de nos connaissances.

Centrales nucléaires

Dans l'article « Climat : la décennie cruciale » (*S. et A.* n° 878, avril 2020), vous laissez entendre que la fermeture d'une quinzaine de centrales nucléaires participe à la réduction de l'empreinte carbone des Français. Or, que ce soit sur le site de l'Ademe ou celui du Giec, le nucléaire est toujours considéré comme une énergie bas carbone sur son cycle de vie (donc y compris construction, enrichissement, gestion des déchets…) au même niveau que l'éolien ou le solaire.

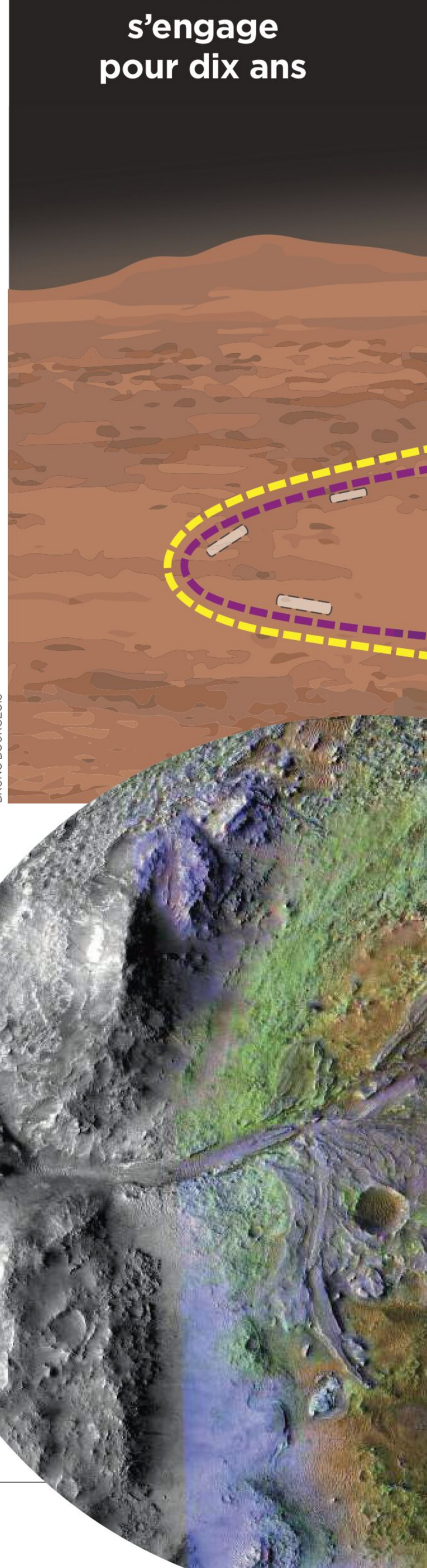
Kevin Arnoux

S. et A. : La contradiction n'est qu'apparente. La fermeture des centrales nucléaires répond à un besoin d'équilibre des différentes productions d'énergie. En fin de vie, celles-ci sont remplacées par des énergies renouvelables dont l'augmentation est actée par les négociations entre États au niveau de l'Europe. La part des énergies renouvelables devrait dépasser 40 % dès la prochaine décennie contre 20 % aujourd'hui. Cette augmentation induit une baisse de la part du nucléaire, d'autant plus que l'objectif final « zéro carbone » en 2050 implique également une réduction des besoins en électricité notamment par l'introduction de nouveaux procédés industriels et appareils de consommation moins gourmands. La réduction de la demande par l'efficacité énergétique et la hausse des énergies renouvelables expliquent la fermeture des centrales nucléaires, source d'énergie dont nous n'avons nulle part remis en cause l'absence directe d'émissions de gaz à effet de serre.



PÉRIPLE

Mars Sample Return : la Nasa s'engage pour dix ans



BRUNO BOURGEOIS

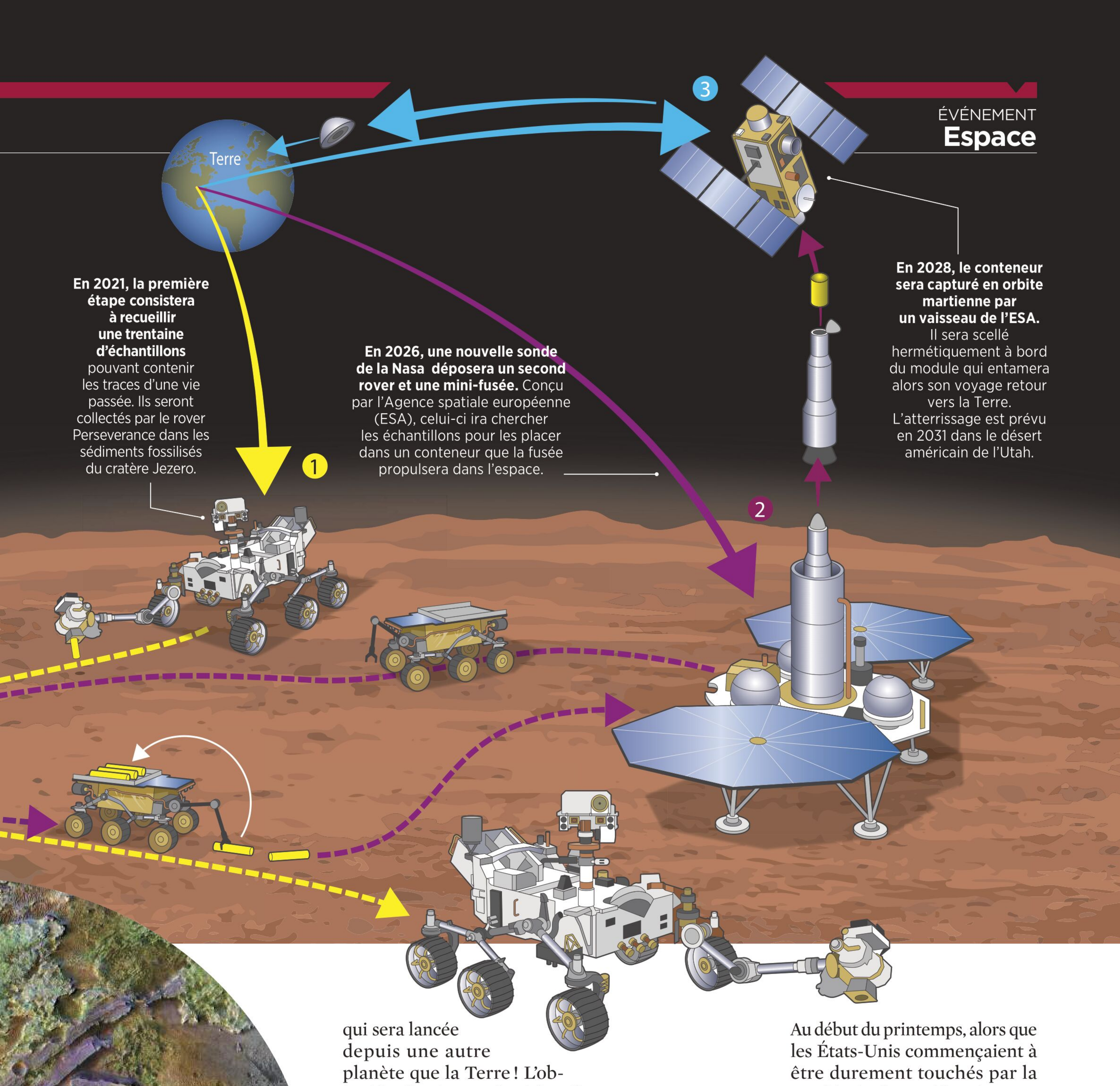
10 milliards de dollars pour des échantillons de sol martien

Trois missions d'exploration de la planète Rouge vont débuter dans les prochaines semaines. La plus ambitieuse, menée par la Nasa, prélèvera des échantillons ayant la meilleure chance de receler des traces d'une vie passée puis les rapportera sur Terre. Elle se déroulera en trois temps et s'étalera sur dix ans.

Par Franck Daninos @fdaninos

LES SEMAINES À VENIR seront capitales pour l'exploration de Mars et la recherche d'une vie en dehors de notre planète. Pas moins de trois pays sont en effet dans les starting-blocks pour se lancer cet été à l'assaut de la planète Rouge. Les Émirats arabes unis tout d'abord, avec Mars Hope, première sonde interplanétaire du monde arabe qui étudiera l'atmosphère martienne ; la Chine avec Tianwen-1 qui réunira un orbiteur, un atterrisseur et un véhicule mobile dans une même fusée *(lire p. 13)* ; et les États-Unis avec Mars 2020, première étape du plus complexe programme martien jamais mis sur pied nommé Mars Sample Return (« retour d'échantillons martiens »). Seule l'Agence spatiale européenne (ESA), alliée à l'agence russe Roscosmos, a jeté l'éponge. Elle laissera à quai jusqu'en 2022 son premier rover martien qui devait s'envoler ce mois de juillet, en raison de difficultés techniques exacerbées par la crise du Covid-19. L'ESA reste cependant dans la course grâce à son partenariat avec Mars Sample Return qui doit s'étaler sur dix ans et coûtera près de 10 milliards de dollars, un quart devant être apporté par l'Europe. Le programme comprend deux rovers, trois vaisseaux spatiaux et quatre fusées... dont une

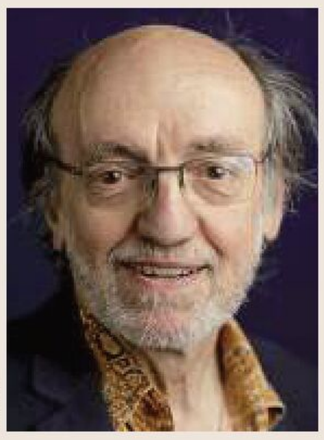
► **Le cratère Jezero** (45 km de diamètre), dans lequel l'eau s'est engouffrée il y a 3,9 milliards d'années.



NASA/JPL-CALTECH/ASU

qui sera lancée depuis une autre planète que la Terre ! L'objectif ? Sélectionner des échantillons ayant les meilleures chances de receler les traces d'une vie passée… afin de les rapporter sur Terre pour les analyser. « *Cela fait 50 ans que les scientifiques attendent cela*, jubile Bernard Marty, du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques à Nancy. *Ces échantillons révolutionneront nos connaissances sur la planète Rouge et représentent notre meilleure opportunité de découvrir une vie extraterrestre… si elle existe.* » Une attente qui explique la pugnacité américaine.

Au début du printemps, alors que les États-Unis commençaient à être durement touchés par la pandémie de Covid-19, la Nasa a décidé de faire de Mars 2020 sa priorité. En sacrifiant tous ses autres grands projets spatiaux, ajournés ou reportés, comme le nouveau lanceur lourd Space Launch System, le télescope spatial James-Webb successeur de Hubble *(lire p. 72)* ou le programme Artemis censé ramener en 2024 des humains sur la Lune. Et en doublant les équipes de mars 2020 pour qu'elles opèrent en vase clos et ne se contaminent pas entre elles. Résultat : la sonde devrait décoller comme prévu ▸



CNES

INTERVIEW

MICHEL VISO

RESPONSABLE DES PROGRAMMES D'EXOBIOLOGIE ET DE PROTECTION PLANÉTAIRE AU CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

« Un principe de précaution absolu »

Le rover américain Perseverance qui s'envole ce mois de juillet vers Mars pourrait-il y transporter le virus SARS-CoV-2 ?
Non. Les opérateurs qui intègrent les différentes parties du rover sont équipés de blouses, masques, gants et travaillent dans des « salles blanches ». Les poussières y sont un million de fois moins nombreuses que dans l'atmosphère, et la plupart des surfaces traitées par des agents stérilisants. Et le virus ne résisterait ni aux sept mois de voyage ni aux radiations martiennes. De plus sur Mars, il n'y a pas d'organisme hôte — humain, pangolin ou chauve-souris — où le SARS-CoV-2 pourrait survivre.

Les échantillons rapportés d'ici à une dizaine d'années sur Terre pourraient-ils, en revanche, représenter un danger ?
En raison de l'absence d'eau liquide, des températures glaciales, d'un environnement très oxydant et des radiations, l'existence d'une forme de vie actuelle sur Mars est considérée comme hautement improbable… mais elle ne peut être totalement exclue. Raison pour laquelle nous appliquons un principe de précaution absolu, comme s'il était certain que ces échantillons contiennent une forme de vie dormante ou active. Ils seront donc rapatriés en suivant les recommandations extrêmement rigoureuses du Comité pour la recherche spatiale (Cospar), groupe international de scientifiques basé à Paris.

Quel est ce protocole ?
Il s'agit de briser toute chaîne de contact entre les échantillons et la biosphère terrestre. Le conteneur propulsé hors de Mars sera recouvert d'une triple enceinte empêchant toute particule de plus de 100 nanomètres d'être libérée. Il sera soudé à l'intérieur de la sonde dévolue au voyage retour. La trajectoire du vaisseau sera calculée de telle sorte qu'il puisse passer à côté de la Terre et filer dans l'espace si le moindre problème était détecté ! Après l'atterrissage, le conteneur sera acheminé dans un laboratoire de très haute sécurité biologique, de type P4, où les échantillons seront placés sous un très strict régime de quarantaine.

Propos recueillis par F. D.

NASA/JPL-CALTECH

Le rover Perseverance est assemblé dans une salle blanche par les ingénieurs du Jet Propulsion Laboratory, en Californie.

▸ le 17 juillet pour atterrir sept mois plus tard sur le sol ocre et désertique de Mars. Elle y déposera alors le rover Perseverance, bijou technologique d'un peu plus d'une tonne. Bardé de capteurs et d'instruments de mesure, il possède un bras robotisé qui creusera le sol et prélèvera les échantillons avant de les stocker dans des tubes.
Le lieu de collecte a été choisi parmi 28 sites candidats, après un processus de sélection entamé dès 2014. Il s'agit du cratère Jezero, formation géologique de 45 kilomètres de diamètre où de l'eau s'est engouffrée il y a 3,9 milliards d'années pour former un système de lacs et le delta d'une rivière dont la structure est encore visible. « *Mars ressemblait alors beaucoup à la Terre primitive*, explique Bernard Marty. *Elle possédait de grandes étendues d'eau, un volcanisme actif, une atmosphère protectrice et un champ magnétique global. Si la vie est apparue durant cette période, c'est dans les sédiments drainés et fossilisés au sein de ce cratère que nous avons le plus de chances d'en découvrir les traces.* »

Un nouveau vaisseau pour récupérer les échantillons

La deuxième étape de Mars Sample Return consistera à entrer en possession des échantillons. La Nasa enverra pour cela, en 2026, un nouveau vaisseau qui déposera, non loin du même site, un rover de récupération et une mini-fusée de trois mètres de haut. C'est cet « astromobile », léger et rapide, qui sera fabriqué par l'ESA. Il recueillera la trentaine de tubes (contenant chacun 20 grammes d'échantillons) déposés sur le sol par Perseverance, puis placera ces derniers dans la fusée au sein d'un petit conteneur de la taille d'un ballon de basket. Destination : la Terre. « *Jamais réalisé, le redécollage de Mars pose d'immenses défis technologiques* », sou-

ligne Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du système solaire au Centre national d'études spatiales (Cnes), tant pour la stabilité de la plate-forme et les contraintes aérodynamiques que sur le choix du carburant. *« La température, qui peut atteindre 20 °C le jour et descendre au-dessous de -100 °C la nuit, impose des ergols qui ne gèlent pas et ne s'évaporent pas*, détaille le scientifique. *La Nasa a finalement opté pour un carburant solide baptisé SP7 dont la composition chimique reste pour le moment secrète. »*

Préparer de futures missions habitées

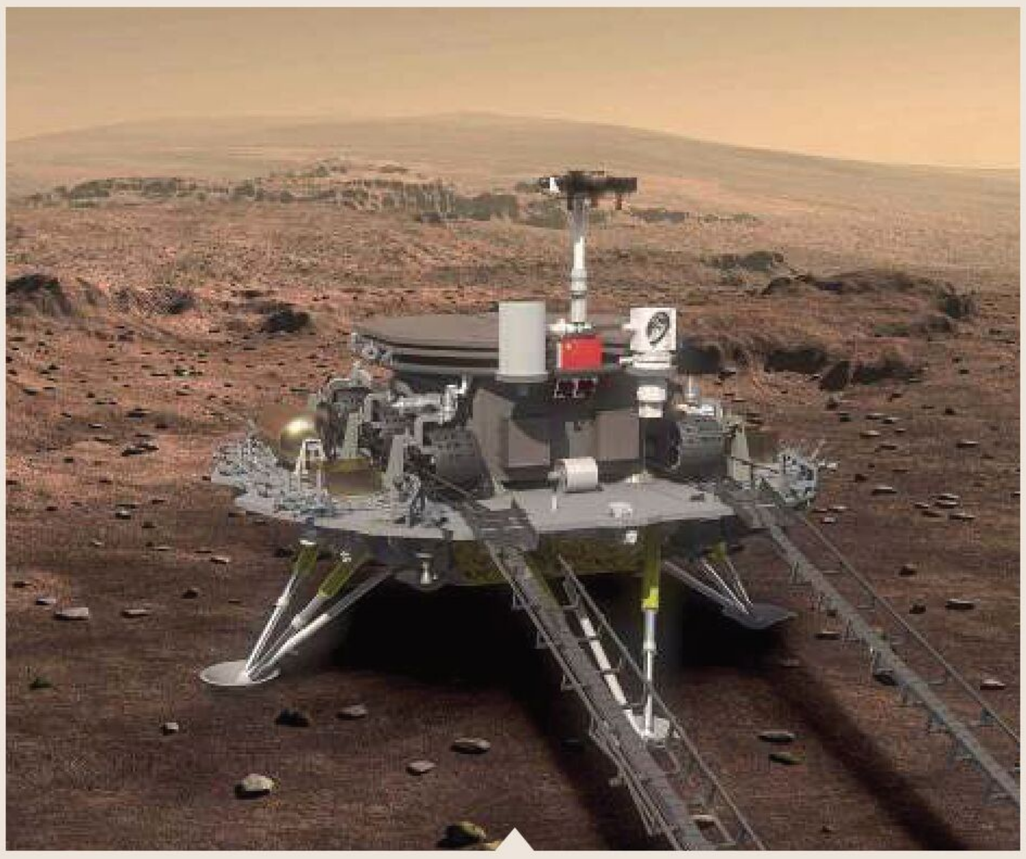
Grâce à ce dispositif, les précieux échantillons seront propulsés dans l'espace, à plus de 300 km d'altitude, où la dernière et non moins délicate étape du programme, celle du retour sur Terre, pourra débuter. *« La capture du conteneur devrait être effectuée en 2028 par un vaisseau de l'ESA*, poursuit Francis Rocard. *Là encore une première, ce rendez-vous en orbite martienne se fera par des techniques de radiométrie et par guidage optique. »* Quand le conteneur sera scellé hermétiquement à l'intérieur du vaisseau, ce dernier pourra alors entamer son voyage retour, pour un atterrissage prévu en 2031 sur un terrain d'entraînement militaire dans le désert américain de l'Utah. Après un luxe de précautions, les analyses pourront enfin débuter ! (*Lire l'interview p. 12.*)

« Ce que nous pourrons faire sur Terre avec des sondes ioniques ou des spectromètres de masse est sans commune mesure avec les examens in situ, assure Bernard Marty. *La résolution sera en effet 10 000 à 100 000 fois plus importante qu'avec les rovers martiens, dévoilant l'intimité physique et chimique des échantillons jusqu'à l'échelle du nanomètre. »* Ces analyses fourniront ainsi des informations capitales sur l'histoire de Mars et son environnement actuel, indispensables pour préparer de futures missions habitées. Et elles permettront d'identifier de possibles bio-signatures, témoins d'une activité métabolique passée, comme certains isotopes du carbone, du zinc et du molybdène ou des acides aminés. De quoi enthousiasmer Sylvestre Maurice, de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (université de Toulouse/CNRS/Centre national d'études spatiales) : *« Si ces sédiments ont abrité ou été en contact avec une quelconque forme de vie extraterrestre, on la trouvera ! »* ■

MISSION TIANWEN-1

La Chine vise un coup d'éclat

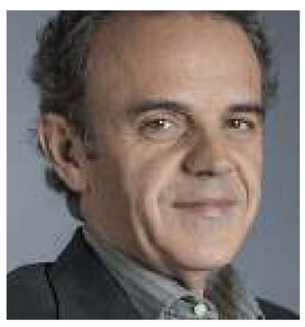
Avec la mission Tianwen-1, la Chine entend frapper fort pour sa toute première échappée martienne prévue fin juillet. À bord d'une même fusée seront placés un orbiteur et un atterrisseur, ce dernier déposant lui-même un petit rover de 240 kg sur la planète Rouge au printemps 2021. *« C'est techniquement très audacieux ! Aucun pays n'a jamais combiné ces trois dispositifs dans une seule mission »*, rappelle Sylvestre Maurice de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie à Toulouse. En cas de succès, la Chine deviendrait la troisième nation à réussir un atterrissage sur Mars, après le très éphémère Mars 3 soviétique en 1971 et huit engins américains. Les enjeux sont également politiques, puisque l'atterrissage de Tianwen-1 est prévu pour coïncider avec le 100e anniversaire du parti communiste chinois.



AP/SIPA

Le projet chinois comprend un orbiteur, un atterrisseur et un véhicule mobile dans une même fusée (vue d'artiste).

Côté scientifique, il s'agira d'étudier la géologie martienne et la distribution de la glace d'eau dans le sous-sol. Une douzaine d'instruments seront utilisés pour cela : magnétomètre, spectromètre infrarouge, radar et caméras. *« Très peu d'informations ont été communiquées sur leurs caractéristiques mais l'équipement semble assez standard*, relève Sylvestre Maurice. A priori, *nous sommes encore très loin de la maturité scientifique et technologique de Perseverance, le rover de la nouvelle mission américaine Mars 2020. »*



CNES

« Le redécollage de Mars, qui n'a jamais été réalisé, pose d'immenses défis technologiques »

Francis Rocard, responsable des programmes d'exploration du Système solaire au Centre national d'études spatiales (Cnes)

Attention, le Soleil se réveille

Après une longue période d'accalmie, un nouveau cycle d'activité de notre étoile vient de débuter. Une violente éruption a été détectée.

NASA/SOLAR DYNAMICS OBSERVATORY/JOY NG

ASTRONOMIE Un regroupement de taches solaires suivi d'une violente éruption a été détecté le 29 mai par l'Observatoire de la dynamique solaire de la Nasa (États-Unis). De catégorie « M » (il en existe cinq — A, B, C, M, X — classées par intensité croissante), cette éruption est la plus importante qu'ait connue l'astre du jour depuis octobre 2017. La preuve la plus manifeste jusqu'à présent que le Soleil sort d'une longue période d'accalmie et entre dans un nouveau cycle d'activité — le 25e du nom selon un décompte remontant au milieu du XVIIIe siècle.

L'activité solaire est rythmée par des cycles pouvant durer de 8 à 14 ans, soit 11 ans en moyenne. D'une grande variabilité, ils restent toutefois très difficiles à prévoir et modéliser. Et ce n'est qu'*a posteriori*, en analysant de six à douze mois d'observations, que les scientifiques peuvent statuer sur le début d'un nouveau cycle solaire. L'intensité de celui qui commence ? Elle s'annonce sensiblement identique à celle du précédent. Confirmation à l'automne. **F. D.**

ITER

La base du cryostat du tokamak d'Iter a été mise en place fin mai.

Le réacteur de fusion nucléaire prend forme

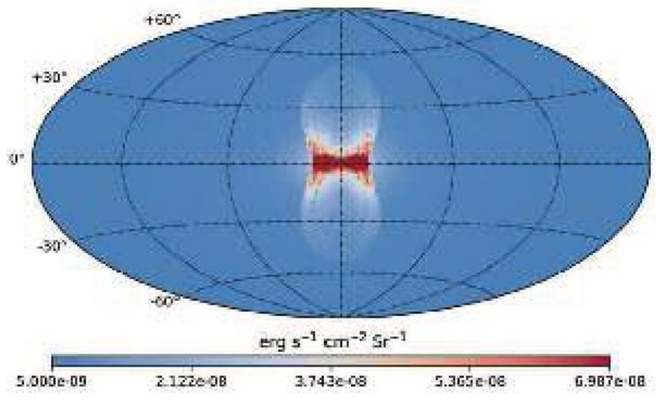
ÉNERGIE La première pièce — et aussi la plus lourde — du « tokamak » d'Iter a été mise en place fin mai à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône). C'est dans cette enceinte qu'un plasma d'hydrogène devrait être produit à partir de 2025 ou 2026 pour réaliser à terme des expériences de fusion thermonucléaire.
La pièce est la base du cryostat, gigantesque cuve en acier de 1250 tonnes. **F. D.**

10 millions de kelvins

La température du halo galactique

ASTRONOMIE Annoncée au congrès de la Société américaine d'astronomie début juin, cette estimation a été établie grâce aux données du satellite XMM de l'Agence spatiale européenne. Cette sphère de gaz ténu englobant le disque de la Voie lactée où se concentre la majorité des étoiles pourrait abriter la matière noire. **A. Kh.**

L'origine des bulles de Fermi dévoilée



ZHANG & GUO ET AL.

Formées de gaz, les deux bulles s'étendent de part et d'autre du centre de la Voie lactée.

ASTROPHYSIQUE Ces deux immenses bulles de plasma détectées par le télescope Fermi en 2010 ont enfin une explication. Il y a à peine 3,5 millions d'années, la Voie lactée s'est embrasée à la suite de l'explosion, près du trou noir central Sagittarius A*, d'un immense gaz d'hydrogène. La déflagration a produit deux traînées de gaz et donné naissance à ces étranges bulles. **J. I.**

SOURCE : RUIYU ZHANG, SHANGHAI ASTRONOMICAL OBSERVATORY, CHINE.

Un « taxi privé » s'est arrimé à l'ISS

ASTRONAUTIQUE Le 31 mai, deux astronautes de la Nasa sont arrivés sans encombre à bord de la Station spatiale internationale (ISS), après un vol inédit à bord d'une capsule développée par la société privée californienne SpaceX *(lire p. 114)*. Ce premier vol privé est aussi le premier vol américain à rejoindre l'ISS depuis juillet 2011. **S. R.**

JOE RAEDLE/GETTY IMAGES/AFP

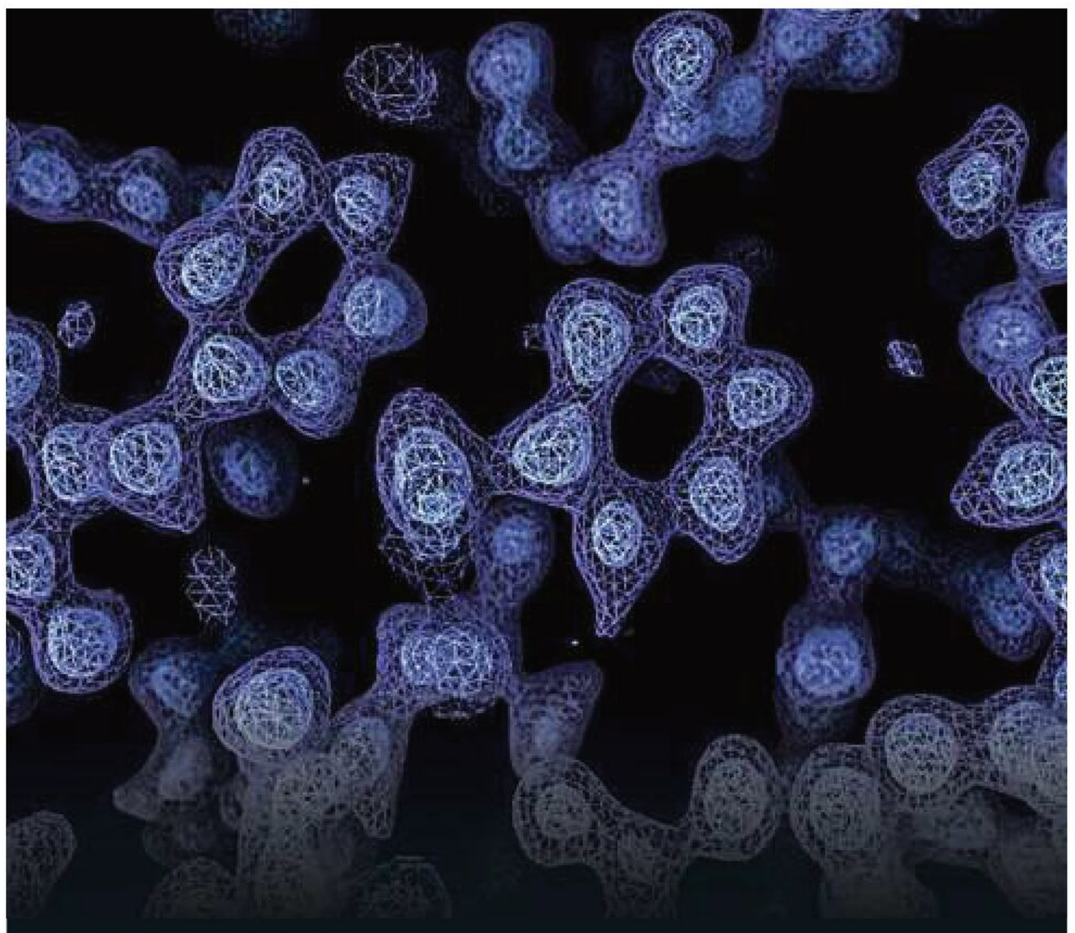
Le lancement de la capsule avec à bord les deux astronautes.

Le champ magnétique au secours de la formation des trous noirs

ASTROPHYSIQUE **Selon une équipe de l'université de Cambridge (Royaume-Uni), le champ magnétique dans le milieu intergalactique pourrait réduire le volume des galaxies de 30 % en concentrant la matière qu'elles contiennent. Surtout, leurs simulations numériques indiquent qu'en densifiant leur région centrale, ce champ pourrait favoriser la formation d'un trou noir supermassif central. A. Kh.**

L'effet des rayons cosmiques va être testé depuis le sol

ESPACE Le centre de recherche de la Nasa à Langley (États-Unis) dispose depuis mai d'un nouveau simulateur de rayons cosmiques, ce flux de particules très énergétiques émises par le Soleil et les autres étoiles. Il combine 33 faisceaux d'ions qui miment l'effet cumulatif de ces rayons sur les astronautes. Les médecins vont analyser, sur des modèles animaux, leur impact sur le risque de cancers, le système cardio-vasculaire et le système nerveux central. **J. I.**



PAUL EMSLEY/MRC LABORATORY OF MOLECULAR BIOLOGY

L'IMAGE DU MOIS

Les atomes d'une protéine observés pour la première fois

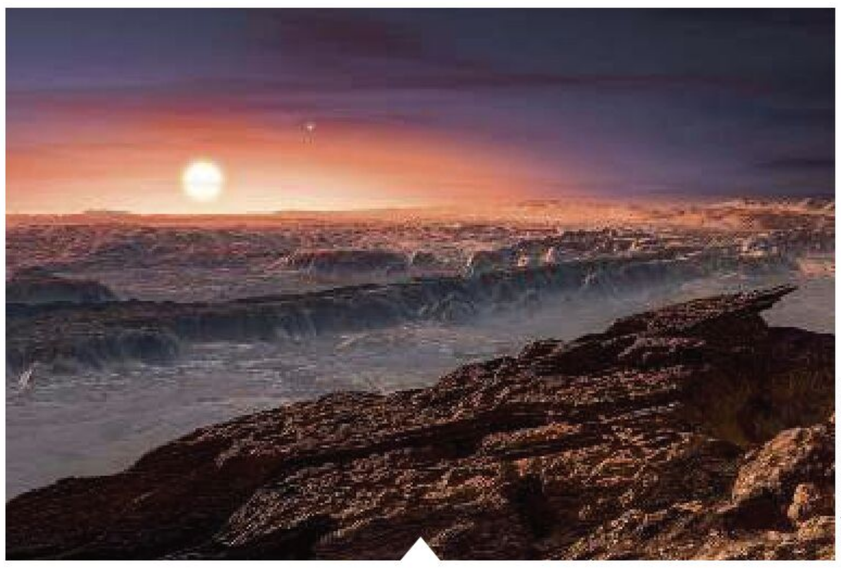
PHYSICO-CHIMIE Jamais une protéine ne s'était dévoilée avec autant de détails. Grâce à une technique d'imagerie couronnée par un prix Nobel de chimie en 2017, la cryomicroscopie électronique, des atomes d'apoferritine — une protéine stockant le fer — ont été directement observés *(les sommets sur la photo ci-dessus)*. La résolution a été poussée à 0,12 nanomètre (milliardième de mètre), contre 0,154 nm pour le précédent record sur une protéine. **M. B.**

SOURCE : KA MAN YIP, INSTITUT MAX-PLANCK DE CHIMIE BIOPHYSIQUE, GÖTTINGEN, ALLEMAGNE.

L'exoplanète la plus proche de nous est semblable à la Terre

Le nouveau spectrographe Espresso installé sur le VLT a permis de préciser les caractéristiques de Proxima b.

PLANÉTOLOGIE Sa découverte en août 2016 avait suscité l'enthousiasme : l'exoplanète Proxima b présentait le double intérêt d'orbiter autour de l'étoile la plus proche du Système solaire, Proxima du Centaure, et d'être située dans la zone habitable de ce système. Les caractéristiques de l'astre se précisent aujourd'hui grâce au nouveau spectrographe Espresso, installé sur le Très Grand Télescope (VLT) de l'ESO au Chili, géré par l'université de Genève. Il a permis de calculer la masse de Proxima b, évaluée à 1,17 masse terrestre, et de déterminer sa période orbitale qui est de 11,2jours. Si cette planète est donc toute proche de son étoile, celle-ci, une naine rouge, est beaucoup moins brillante que le Soleil. Ainsi elle reçoit à peu près la même quantité de rayonnement que la Terre. En dépit de cela, les conditions qui règnent sur Proxima b semblent difficilement compatibles avec le développement de la vie : son étoile connaît de violentes éruptions à l'origine d'un flux de rayons X délétères qui bombardent l'exoplanète. **J. I.**



ESO/M. KORNMESSER

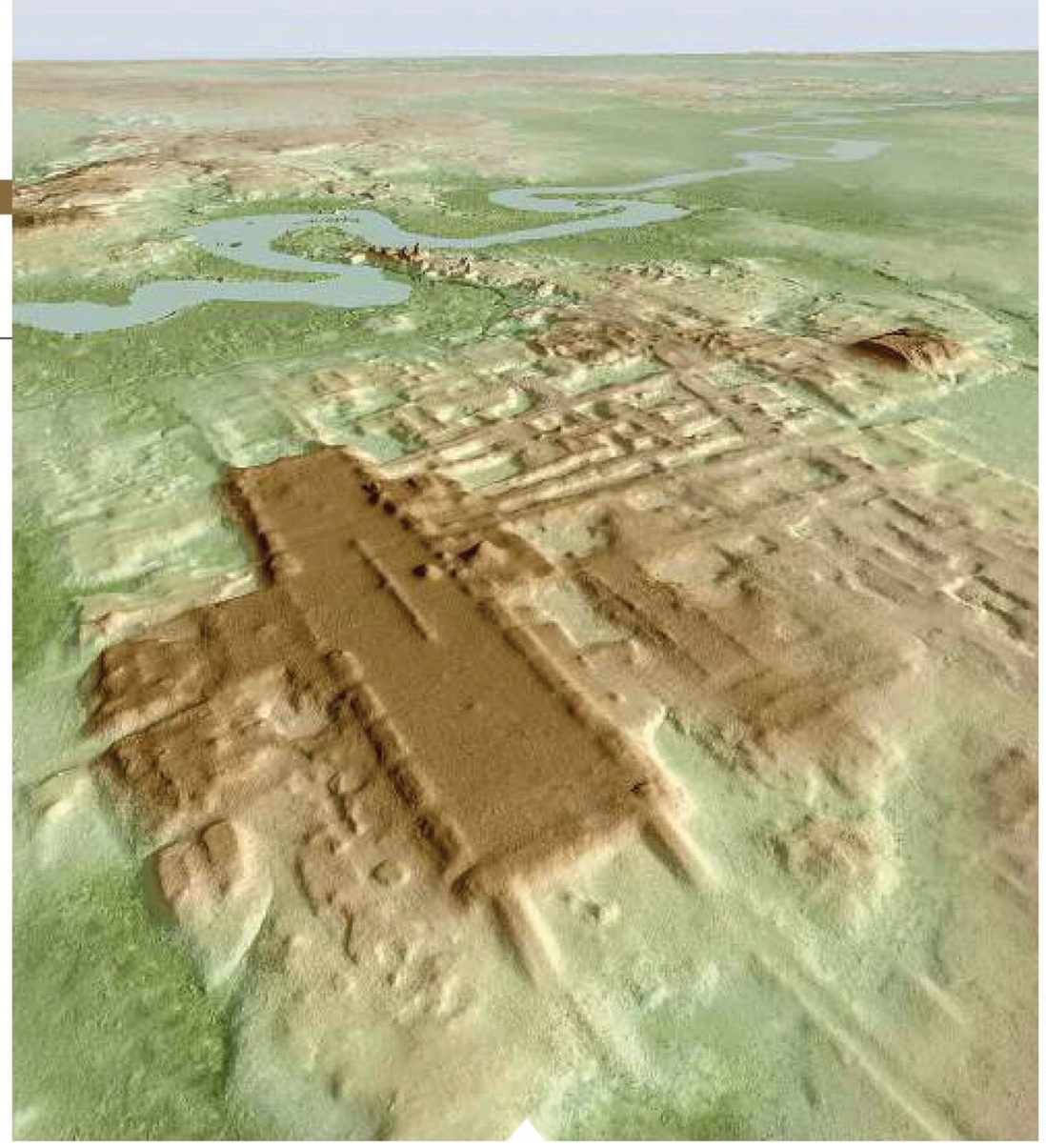
Proxima b est située dans la zone habitable de son étoile, la plus proche du système solaire (vue d'artiste).

Les Mayas voyaient grand

Érigé vers 1000 avant J.-C., le site cérémoniel d'Aguada Fénix est la plus vaste structure maya découverte à ce jour.

ARCHÉOLOGIE Repéré dans l'État mexicain du Tabasco, le site d'Aguada Fénix apparaît comme la plus vaste et plus vieille structure connue bâtie par cette civilisation : une plate-forme de 1400 m de long pour 400 m de large et une quinzaine de hauteur, d'où auraient rayonné neuf grandes chaussées. Érigé vers 1000 avant J.-C., Aguada Fénix est ainsi plus étendu que le complexe pyramidal de La Danta (400 avant J.-C.-200 après) du site d'El Mirador (Guatemala) et antérieur à celui de Seibal (950 avant J.-C.), considéré jusqu'alors comme le plus ancien centre cérémoniel maya.

Cette découverte a été faite grâce à des relevés par lidar (*Light Detection and Ranging*) aéroporté, couplé à un GPS de haute précision. Cette technique de télédétection, fondée sur des impulsions laser, permet de repérer des structures au sol, y compris sous la végétation *(lire aussi p. 44)*. Ce site cérémoniel semble avoir fonctionné durant à peine deux cents ans avant son abandon et pourrait avoir servi à des rituels de masse. **B. A.**



TAKESHI INOMATA

Cette image 3D du site a été réalisée à partir de données de télédection par laser (lidar) aéroporté.

Le plus vieil animal terrestre

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

L'arthropode était segmenté comme un mille-pattes.

Quoi : un fossile long de 2,5 cm, segmenté comme un mille-pattes, baptisé *Kampecaris obanensis.*

Où : il a été extirpé des roches de l'île écossaise de Kerrera.

Qui : il a été découvert par l'équipe de Michael Brookfield, de l'université du Texas (États-Unis).

Quand : daté de 425 millions d'années, il s'agit du plus vieil animal terrestre connu, et du plus vieux fossile d'arthropode (la branche des insectes, araignées, crustacés…).

Conséquence : le fossile est environ 75 millions d'années plus jeune que ne le prévoyaient les études génétiques et montre que l'évolution des arthropodes terrestres a été bien plus rapide qu'envisagée jusque-là. **R. M.**

Les extraordinaires sépultures de Cussac

PRÉHISTOIRE Six « dépôts humains » — des ossements non ensevelis — vieux de 25 000 ans à 35 000 ans découverts dans la grotte de Cussac (Dordogne), surnommée le « Lascaux de la gravure », viennent d'être analysés. Tous les restes étaient recouverts de pigments d'ocre et arrangés d'une manière particulière, traduisant des comportements symboliques complexes. **B. A.**

SOURCE : SACHA KACKI, UNIVERSITÉ DE BORDEAUX, PESSAC.

ESPEN FINSTAD, SECRETSOFTHEICE.COM

Crâne d'un cheval utilisé pour le transport de marchandises.

La glace norvégienne livre des vestiges vikings

MOYEN ÂGE Pointes de flèches, fer à cheval, raquette à neige, couteaux, traîneaux… Au centre de la Norvège, dans la région du Lendbreen, le recul des glaces a dévoilé un itinéraire oublié et une multitude de vestiges remontant à la période viking. Ce trajet passant par un col a connu vers l'an 1000 son pic de fréquentation. Il reliait les zones d'altitude aux fjords, offrant un débouché et permettant l'exportation des produits agricoles des montagnes norvégiennes. **B. A.**

SOURCE : LARS PILØ, INNLANDET COUNTY COUNCIL, LILLEHAMMER, NORVÈGE.

Record d'empreintes préhistoriques en Afrique

PRÉHISTOIRE C'est la plus abondante piste d'empreintes humaines jamais découverte à ce jour en Afrique : 408 traces fossiles ont été mises au jour à Engare Seno, en Tanzanie. Selon leur analyse, elles correspondraient à un groupe de 17 individus composé de 14 femmes, deux hommes et un enfant. Elles se sont retrouvées scellées dans les cendres projetées par le volcan voisin, il y a environ 10 000 à 12 000 ans. **B. A.**

SOURCE : KEVIN HATALA, CHATHAM UNIVERSITY, PITTSBURGH, ÉTATS-UNIS.

ROBERT CLARK/NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE

16 adultes et un enfant ont laissé les empreintes de leurs pas, il y a 10 000 à 12 000 ans.

Un ordinateur pour des cambrioleurs. Des données très personnelles pour vous.

orange™

Maison Protégée
Télésurveillance 24/7

19 €99 /mois*
pendant 6 mois puis 25,99 €/mois pour un appartement en étage

- **Installation par nos professionnels incluse**
- **Déplacement sans frais d'un agent de sécurité 24/7**
- **Tarif fixe, quel que soit le nombre de détecteurs installés****

telesurveillance.orange.fr

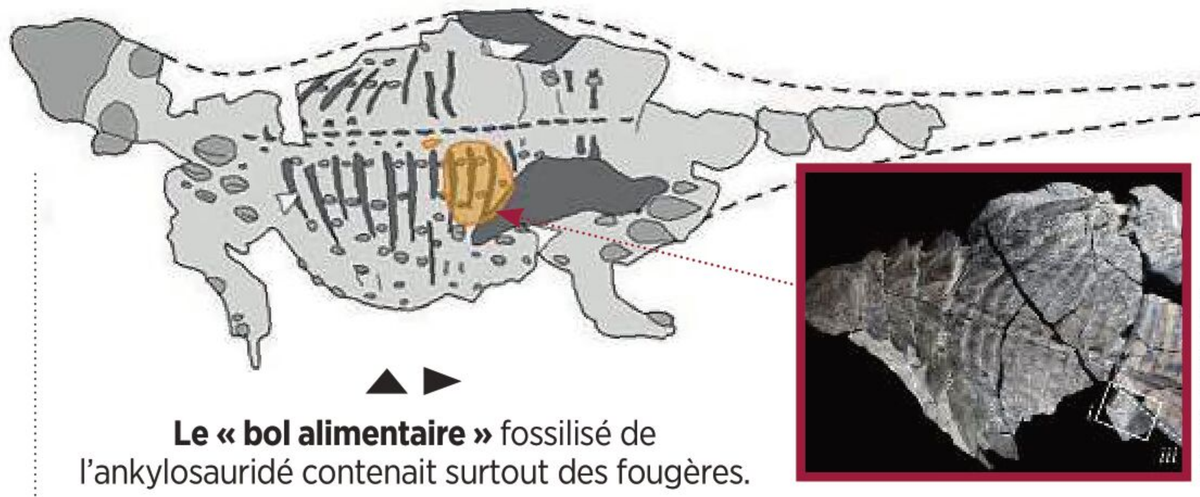
Offre soumise à conditions, réservée aux abonnés particuliers Orange mobile ou internet pour les logements en France métropolitaine d'une surface jusqu'à 200 m² et dont la valeur des biens mobiliers ne dépasse pas 100 000 €. Frais de résiliation de 49 €. Conditions sur telesurveillance.orange.fr

*Tarif pour un appartement en rez-de-chaussée ou une maison : 26,99 €/mois pendant 6 mois puis 32,99 €/mois. Promotion valable pour toute 1re souscription (même titulaire et même adresse) jusqu'au 19/08/2020. **Le technicien détermine le type, le nombre et l'emplacement des détecteurs suite au diagnostic personnalisé du logement, afin de sécuriser les axes stratégiques et les zones de valeur.
Maison Protégée est une offre de télésurveillance proposée par Orange Télésurveillance (SASU au capital de 33 610 000 € - Siège social : 1 avenue du Président Nelson Mandela 94110 Arcueil - RCS Créteil 824 353 973), titulaire de l'autorisation d'exercer AUT-094-2117-05-16-20180654177 délivrée par le CNAPS. L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient. © Matthieu Joffres

Un coup de froid a dopé les riz long et rond

PALÉOBOTANIQUE Il y a plus de 4200 ans, un refroidissement mondial a stimulé l'évolution du riz, cultivé en Chine depuis 9000 ans, ce qui lui a permis de gagner toute l'Asie. L'étude génétique de 1400 variétés de riz, couplée à l'archéologie, montre que cet événement a conduit à la sélection d'une nouvelle espèce, le riz rond japonais, et de nouvelles variétés de riz long, notamment du type basmati. **R. M.**

SOURCE : RAFAL GUTAKER, UNIVERSITÉ DE NEW YORK, ÉTATS-UNIS.



CALEB M. BROWN ET AL.

Le « bol alimentaire » fossilisé de l'ankylosauridé contenait surtout des fougères.

L'estomac du dinosaure révèle son menu

PALÉONTOLOGIE Des fougères en grande quantité, feuilles et tiges, quelques feuilles de cycadales et de conifères, et des milliers de grains de pollens : voilà de quoi était composé le menu de *Borealopelta markmitchelli*, un gros dinosaure de la famille des ankylosauridés. Son fossile exceptionnellement bien conservé, découvert dans la province de l'Alberta au Canada, a permis d'analyser avec une grande précision le contenu de l'estomac. J. I.

SOURCE : CALEB BROWN, ROYAL TYRRELL MUSEUM OF PALAEONTOLOGY, DRUMHELLER, CANADA.

IL A DIT

« Les anciens Homo sapiens, *les néandertaliens et les dénisoviens étaient génétiquement plus proches les uns des autres que les ours polaires des ours bruns, et ont pu facilement produire des hybrides sains »*

Greger Larson, directeur du réseau de recherche de paléogénomique et bioarchéologie de l'université d'Oxford, Royaume-Uni.

BRIDGEMAN IMAGES

La fabrication de parfum, sur une fresque de Pompéi.

Un atelier de parfumeur à Pompéi

ANTIQUITÉ Pots à onguents, presses pour extraire des bases huileuses, bassin de décantation de fleurs aromatiques pour la production des essences, et même, des *lanificari* où était récupéré le suint de mouton entrant les préparations cosmétiques… La récente étude d'une vaste demeure de Pompéi (Italie), la maison d'Ariane, a permis de retracer l'histoire d'un exceptionnel atelier de parfumerie, parmi les mieux conservés de toute l'Antiquité romaine. **B. A.**

Des traces de cannabis dans un sanctuaire

Cette découverte sur le site de Tel Arad en Israël prouve l'usage de ce psychotrope dès l'âge du fer.

ANTHROPOLOGIE Au VIIIe siècle avant notre ère, dans le royaume de Juda, les pratiques religieuses s'accompagnaient peut-être de la recherche d'états seconds. Des résidus de cannabis ont en effet été découverts dans un ancien sanctuaire utilisé entre 760 et 715 avant J.-C., dans la forteresse de Tel Arad (Israël). Une première dans le Proche-Orient ancien, preuve d'un usage inattendu de cette plante psychotrope dès l'âge du fer. Des inflorescences de chanvre indien auraient été brûlées pour être inhalées dans le cadre de rituels. Associées à de l'encens, des substances psychoactives ont été identifiées sur deux autels, qui ont conservé durant 2800 ans des restes de matières organiques solidifiées.

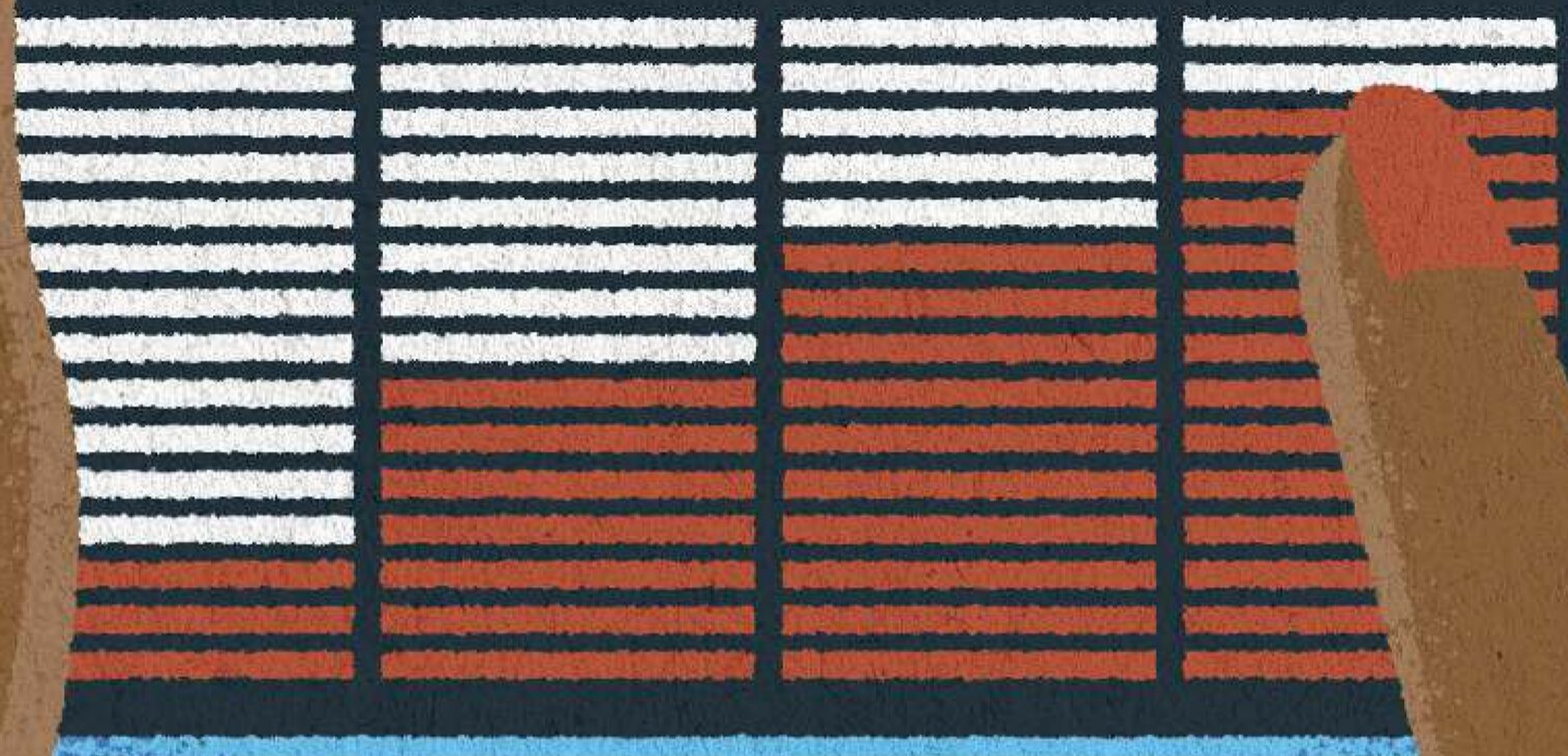
Leur analyse par chromatographie en phase gazeuse et liquide couplée à des spectromètres de masse a révélé que le plus grand contenait de l'encens mélangé à des graisses animales qui, en chauffant, libéraient le parfum de la résine ; et le plus petit, des résidus de cannabinoïdes : tétrahydrocannabinol (THC), cannabidiol (CBD) et cannabinol (CBN). **B. A.**

ISRAEL ANTIQUITIES AUTHORITY COLLECTION / THE ISRAEL MUSEUM, JERUSALEM.

Le sanctuaire abritait deux autels. Sur l'un ont été retrouvés des résidus de combustion d'encens, sur l'autre *(à droite)*, de chanvre indien.

ALORS COMME ÇA LES GENS ACHÈTERAIENT LA PRESSE SANS LA LIRE ?

LA PRESSE, C'EST UNE AUDIENCE QUI NE CESSE D'AUGMENTER DEPUIS 10 ANS.



INTÉRESSEZ-VOUS À LA PRESSE, LES GENS S'Y INTÉRESSENT.

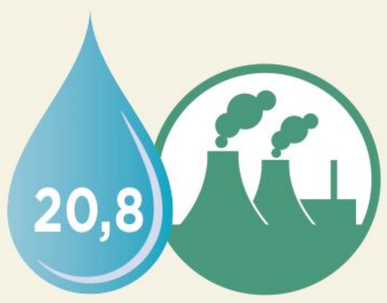
OneNext
La nouvelle mesure d'audience des marques de presse

BETC CORPORATE

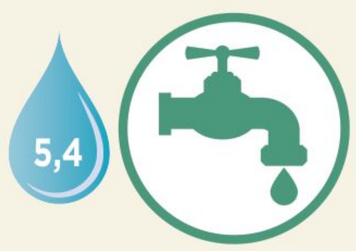
Les usages de l'eau en France

Volumes en 2016 (en milliards de m³), selon un rapport de l'Assemblée nationale de juin 2020

Prélevés dans le milieu naturel (hors barrages hydroélectriques).



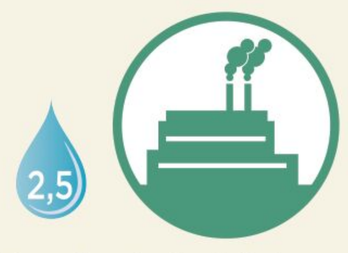
Refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires, et relâchés dans les rivières ou dans l'atmosphère sous forme de vapeur.



Eau potable pour les usages domestiques, soit 170 litres d'eau par jour et par usager.

Alimentation des canaux

Irrigation



Besoins industriels

BRUNO BOURGEOIS/ SOURCE : ASSEMBLÉE NATIONALE, RAPPORT D'INFORMATION SUR LA GESTION DES CONFLITS D'USAGE EN SITUATION DE PÉNURIE D'EAU, JUIN 2020.

BPMI

Situé sur l'île de Bornéo, l'emplacement retenu est soumis à un risque de tsunami *(vue d'artiste de la future cité)*.

Des tsunamis menacent la future capitale indonésienne

Pour fuir Jakarta menacée par la hausse du niveau de la mer, les autorités ont choisi un autre site… exposé aux raz-de-marée.

OCÉANOGRAPHIE La capitale de l'Indonésie, actuellement à Jakarta, va déménager de l'île de Java vers celle de Bornéo. En cause, la hausse du niveau des mers et l'affaissement des sols lié à l'urbanisation. Cette décision, prise en 2019, pourrait pourtant se révéler une erreur selon une étude de l'université d'Édimbourg (Royaume-Uni) : il existe un réel risque de tsunami dans le détroit qui sépare Bornéo de l'île de Célèbes. Ce couloir de 800 km est emprunté par un courant qui charrie chaque année des millions de mètres cubes de sédiments. Ceux-ci s'accumulent rapidement, mais sont aussi soumis à une érosion puissante, à laquelle se superpose la surexploitation du talus continental, facteurs de déstabilisation des sédiments. 19 zones ont été localisées, où des glissements de terrain ont entraîné jusqu'à 350 km³ de matériaux, susceptibles d'avoir provoqué des tsunamis sur les côtes au cours des 2,6 derniers millions d'années. Et notamment dans la baie de Balikpapan, proche du site la future capitale. **S. R.**

Des satellites pour traquer le plastique en mer

ENVIRONNEMENT La pollution des océans par les plastiques peut désormais être traquée depuis l'espace ! Deux satellites Sentinel-2 de l'Agence spatiale européenne (ESA) ont en effet réussi à détecter des morceaux de plus de 5 mm de ce matériau dans les océans, le long des côtes vietnamiennes, ghanéennes, canadiennes et écossaises. C'est un algorithme qui distingue sur des photos le plastique des algues ou de l'écume grâce au rayonnement infrarouge qu'ils émettent. **H. Ru.**

Un spray antimoustique volcanique

INSECTICIDES Un spray à base d'eau et de roche volcanique en poudre, la perlite : voilà le nouvel antimoustique qui déshydrate et tue les insectes mis au point par des chercheurs américains. Pulvérisé sur les murs et les toits, sans additif chimique, il constitue une alternative aux pesticides auxquels les insectes, notamment ceux véhiculant le paludisme, sont de plus en plus résistants. **R. M.**

SOURCE : JEAN DEGUENON, UNIVERSITÉ D'ÉTAT DE CAROLINE DU NORD, ÉTATS-UNIS.

JEAN DEGUENON, NC STATE UNIVERSITY

Le moustique (ici une patte) meurt désydraté au contact de la perlite.

Des larves (cercles blancs) ont été retrouvées dans le système digestif de *Mnemiopsis leidyi*.

Cet animal mange ses enfants pour survivre

ZOOLOGIE Cousin de la méduse, *Mnemiopsis leidyi* mange sa progéniture pour survivre dans les eaux froides de la Baltique ! À l'automne, l'animal pond abondamment pour dévorer une partie de ses larves aux premiers froids. Il dispose ainsi de réserves énergétiques suffisantes pour vivre 80 jours par une eau à 3 °C. **L. C.**

SOURCE : J. JAVIDPOUR, UNIVERSITÉ DU DANEMARK DU SUD, ODENSE.

JAMILEH JAVIDPOUR

LES JEUNES PASSENT TROP DE TEMPS SUR LEUR PORTABLE. MAIS S'ILS LISENT LA PRESSE, EST-CE VRAIMENT TROP ?

95% DES 15-24 ANS LISENT LA PRESSE.

INTÉRESSEZ-VOUS À LA PRESSE, LES GENS S'Y INTÉRESSENT.

OneNext
La nouvelle mesure d'audience des marques de presse

BETC CORPORATE

NATUREPL/EBPHOTO

L'alimentation de l'oiseau explique la présence de protoxyde d'azote dans le guano.

Du gaz hilarant émane des excréments des manchots

ORNITHOLOGIE Des chercheurs danois ont ressenti comme un effet euphorisant en respirant… les odeurs des excréments de manchots royaux ! Explication : à base de poissons et de krill, l'alimentation de ces oiseaux est riche en azote qui, une fois dans le guano, est transformé en protoxyde d'azote soit du « gaz hilarant ». Il s'agit par ailleurs d'un puissant gaz à effet de serre, mais les chercheurs estiment que les volumes sont trop faibles pour avoir un impact à l'échelle planétaire. **M. N.**

SOURCE : PEIYAN WANG, UNIVERSITÉ DE COPENHAGUE, DANEMARK.

« Tous les animaux — même les serpents — ont besoin d'interagir avec leurs congénères »

Morgan Skinner, chercheur à l'université Wilfrid-Laurier (Canada) et auteur d'une étude sur la recherche de sociabilité de la couleuvre rayée.

NATUREPL/EBPHOTO

Le volatile exotique ne chasse pas les petits oiseaux des mangeoires.

La perruche à collier ne nuit pas aux autres oiseaux

BIODIVERSITÉ Introduite en France dans les années 1970, la perruche à collier ne semble pas perturber la fréquentation des mangeoires par d'autres oiseaux plus petits comme le moineau, les différentes mésanges ou le pinson. C'est la conclusion d'un programme de science participative piloté par le Muséum et l'université Paris-Saclay. Rassurante, l'opération sera poursuivie les hivers prochains. **P. K.**

JUAN-CARLOS MUNOZ / BIOSPHOTO

Plus le flamant est agressif, plus il est rose

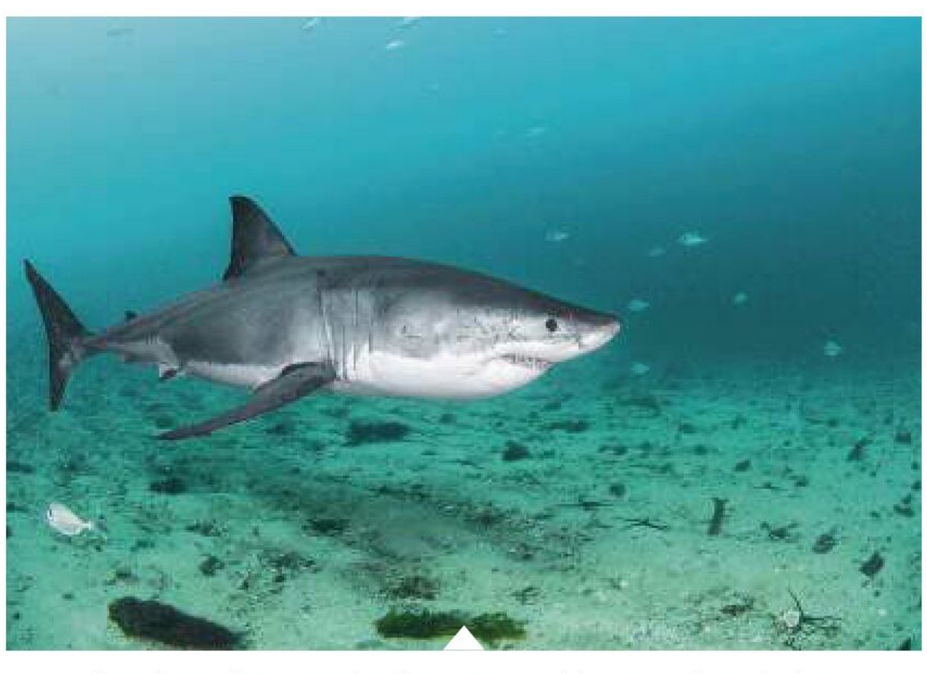
ÉTHOLOGIE Les flamants nains, comme leurs cousins flamants roses, possèdent un plumage qui tire vers le rose, et ce d'autant plus que leur alimentation est riche. Des scientifiques britanniques ont observé que les individus les plus agressifs, qui arrivent à prendre l'avantage sur les autres pour se nourrir davantage, sont les plus roses ! **A.-S. T**

SOURCE : PAUL ROSE, UNIVERSITÉ D'EXETER, ROYAUME-UNI.

Le grand requin blanc ne chasse pas qu'en surface

Ce squale passerait aussi du temps en profondeur pour se nourrir.

OCÉANOGRAPHIE L'image de l'aileron du grand requin blanc dépassant des flots alors que l'animal est en chasse pourrait bien être partiellement fausse. En effet, *Carcharodon carcharias* passerait beaucoup plus de temps près du fond pour se nourrir des espèces qui y vivent. C'est le constat effectué par des chercheurs de l'université de Sidney (Australie) qui ont examiné le contenu stomacal de 40 jeunes requins blancs. Selon leur étude, 32 % seulement des restes analysés provenaient de poissons nageant près de la surface contre 17,4 % d'habitants des fonds, 14,9 % d'espèces qui se cachent dans le sable et 5 % de poissons coralliens, le reste n'ayant pas pu être identifié. Ce résultat conforte les mesures effectuées sur des animaux équipés d'une balise GPS qui montrait déjà qu'ils vivent plutôt en profondeur. Les chercheurs vont maintenant s'attacher à mieux caractériser le régime alimentaire des requins blancs, leurs besoins en graisse et protéines, pour comprendre leurs déplacements et migrations. **L. C.**



JUAN-CARLOS MUNOZ / BIOSPHOTO

« Carcharodon carcharias » peut dépasser 6 m de long.

MYSTÉRIEUSE BIRMANIE

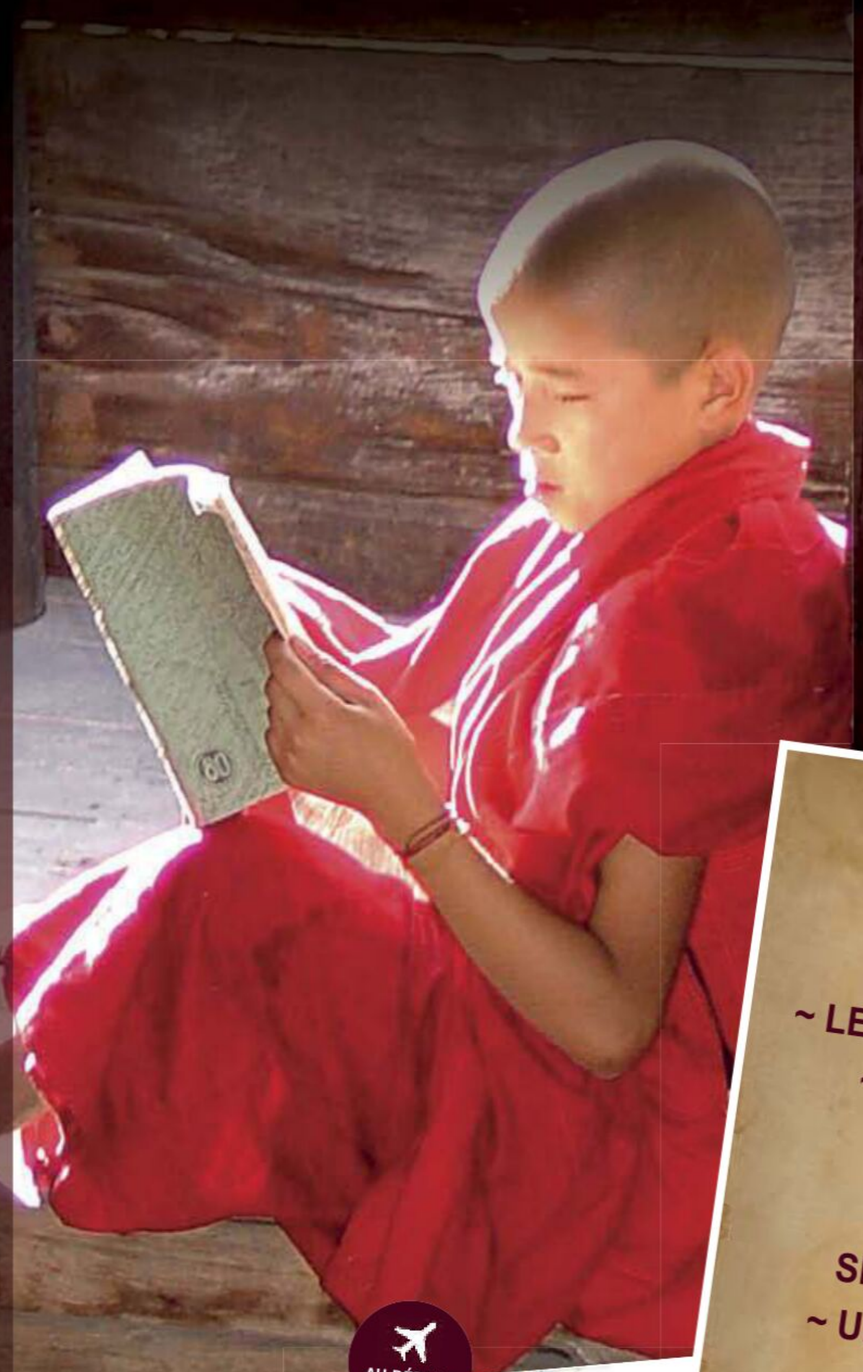
Mandalay, golfe du Bengale, temples de Bagan... il y a des noms qui font instantanément rêver. Sans même évoquer la vallée des rubis, célèbre titre de Joseph Kessel, aussi bien journaliste qu'aventurier qui raconta les richesses de Mogok, ville toute empreinte de légendes.

Le voyage proposé aujourd'hui au Myanmar par Sciences et Avenir invite à la découverte de ce pays mieux connu de beaucoup sous le nom de Birmanie, qui paraît toujours aussi mystérieux.

Il nous fallait, pour le décrypter, une réelle connaisseuse, telle que Claudine Le Tourneur d'Ison, véritable globe-trotter qui fut l'une des premières journalistes à rencontrer Aung San Suu Kyi en 1996. Egalement écrivaine et réalisatrice, elle pourra dresser le portrait intime de cette dirigeante connue dans le monde entier, un lien singulier liant les deux femmes. Et ne manquera pas d'aborder le problème difficile des Rohingyas. Elle nous rappelera aussi le rôle majeur que continue de jouer le majestueux fleuve Irrawady… Ce sont à la fois la découverte de sites somptueux et la compréhension du monde d'aujourd'hui qui vous sont proposées. Un merveilleux voyage en perspective.

Dr Dominique LEGLU
Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir

AVEC VOUS À BORD !
CLAUDINE LE TOURNEUR D'ISON
Journaliste, écrivaine, réalisatrice

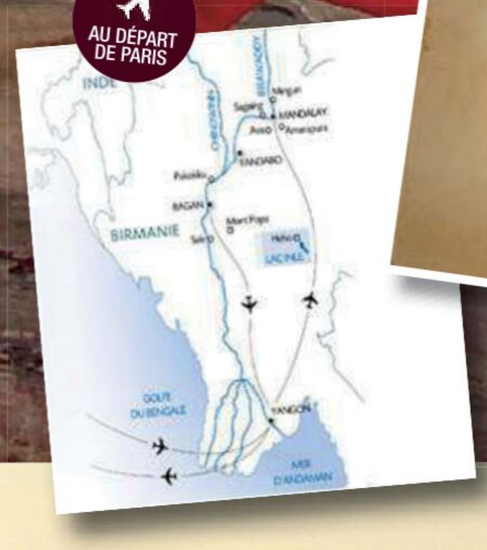


LES EXPÉDITIONS SCIENCES ET AVENIR

CROISIÈRE EN BIRMANIE

FESTIVAL DU PHAUNG DAW OO AU LAC INLE

14 JOURS / 11 NUITS
DU 14 AU 27 OCT. 2020
A BORD DU PANDAW II



LES POINTS FORTS

- ~ UNE CONFÉRENCIÈRE DE TRÈS HAUT NIVEAU SPÉCIALISTE DE LA BIRMANIE.
- ~ LES VISITES DES PLUS BEAUX SITES DE LA BIRMANIE.
- ~ UNE DES MEILLEURES PÉRIODES DE L'ANNÉE.
- ~ LE GRAND MOMENT DE VOTRE CROISIÈRE, LE FESTIVAL DES BATEAUX PAGODES SUR LE LAC INLE, C'EST L'UN DES PLUS BEAUX SPECTACLES AQUATIQUES D'ASIE DU SUD-EST.
- ~ UN PETIT PAQUEBOT CONVIVIAL DE 20 CABINES POUR 40 PRIVILÉGIÉS.
- ~ UN TOUT COMPRIS BLEU VOYAGES (excursions, boissons à table, etc...).
- ~ UN ACCOMPAGNEMENT FRANCOPHONE.

À PARTIR DE

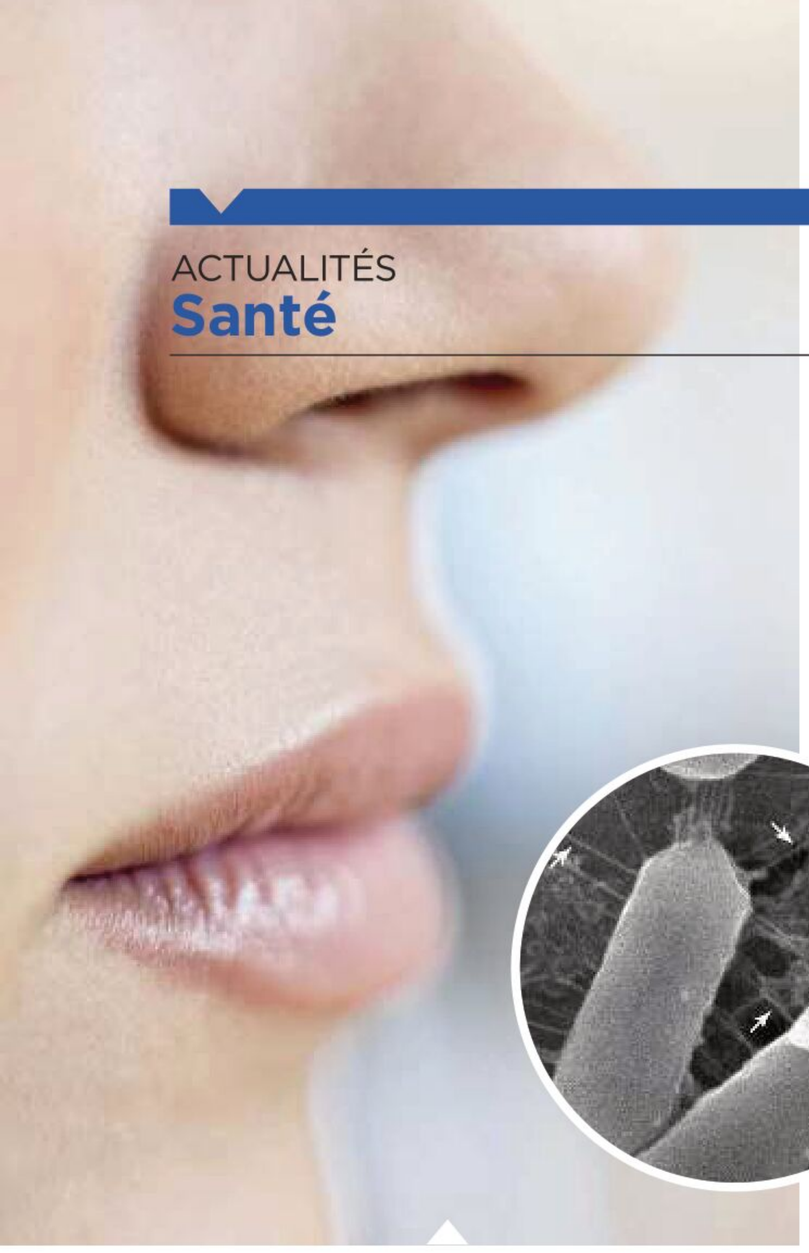
3 700 €/PERS.

Au départ de Paris - En tout inclus

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
TÉL. 04 72 76 75 66
www.expeditions-sciencesetavenir.fr

Bleu Voyages

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 € • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.



Notre nez héberge notamment une population de « Lactobacillus casei » (cercle), bénéfiques pour l'organisme.

PLAINPICTURE - DE BOECK ET AL./ CELL REPORTS

Le nez aussi a son microbiote

Des chercheurs ont montré que l'absence de certaines bactéries favoriserait les sinusites.

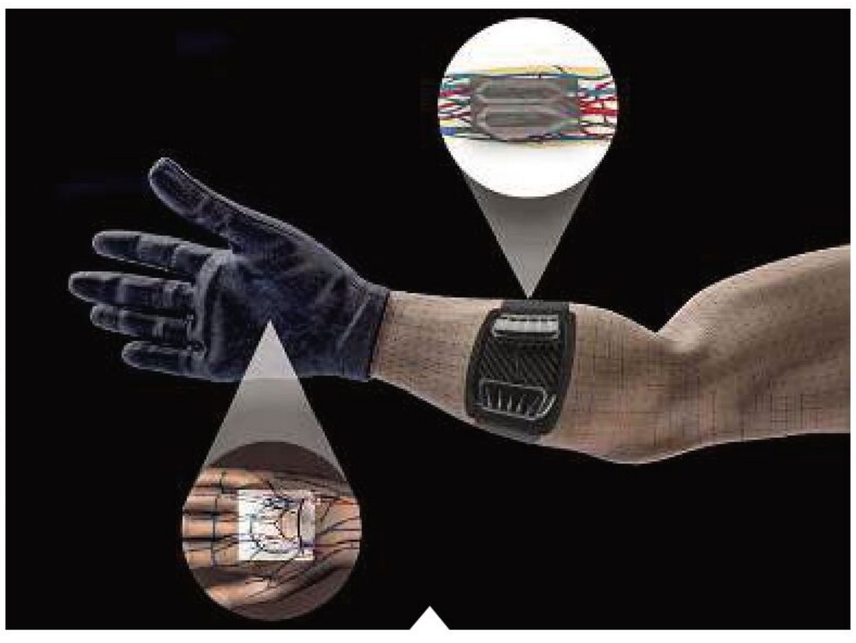
ORL Après les intestins ou la peau *(lire p. 54)*, le nez ! Des chercheurs belges de l'université d'Anvers montrent que nos fosses nasales hébergent également une population bactérienne bien spécifique. Et notamment une espèce bénéfique pour l'organisme : *Lactobacillus casei*. Les scientifiques ont découvert en outre que les personnes développant fréquemment des sinusites ont une population nasale très appauvrie. En comparant les populations bactériennes de fosses nasales chez une centaine de volontaires sains et plus de 200 souffrant de sinusite chronique, la chercheuse principale de l'étude, Sarah Lebeer, a constaté que ces derniers comptaient jusqu'à dix fois moins de bonnes bactéries dans certaines zones du nez. Un constat qui a conduit les chercheurs à imaginer un spray nasal capable de délivrer les lactobacilles. Mais pour l'heure il ne s'agit encore que d'un concept. **H. R.**

EN DEUX MOTS

EBOLA. La République démocratique du Congo a déclaré sa onzième épidémie de fièvre Ebola depuis 1976 alors que la dixième s'achevait à peine. **CALCULS RÉNAUX.** Des médecins américains ont mis au point un test appelé SLIPS Lab qui permet de savoir en 30 minutes chez son médecin si l'on est à risque de présenter un calcul rénal. **STIMULATION.** Les médicaments utilisés pour traiter la dysfonction érectile chez l'homme stimulent aussi fortement la formation du tissu osseux chez la souris, selon une étude américaine.

Un gant au service des diabétiques

ENDOCRINOLOGIE Ce gant et ce brassard baptisés Ediamond constituent un dispositif de mesure de la glycémie, le taux de sucre dans le sang. Créés pour les diabétiques par des scientifiques de l'Université américaine de Beyrouth (Liban), ils sont munis de capteurs qui émettent des ondes électromagnétiques et reçoivent en retour les ondes réfléchies par le sang. En fonction du taux de sucre, le spectre diffère ce qui permet de calculer la glycémie. **J. I.**



JESSICA HANNA, AMERICAN UNIVERSITY OF BEIRUT

Le dispositif de mesure associe un gant et un brassard munis de capteurs d'ondes électromagnétiques.

36 %

Le taux de bons résultats de diagnostics sur Internet

MÉDECINE Entrer ses symptômes dans un moteur de recherche ne permet d'obtenir qu'un bon diagnostic dans un peu plus d'un tiers des cas. L'étude a porté sur 36 sites internationaux qui proposent de rechercher une maladie en fonction des symptômes et 1170 tests. En moyenne, Google traite 70 000 recherches liées à la santé toutes les minutes. **C. L.**

SOURCE : MICHELLA HILL, UNIVERSITÉ EDITH-COWAN, AUSTRALIE.

L'œil de Lascar

DES TESTS SUR DES HAMSTERS menés à l'université de Hong Kong prouvent que le port du masque est efficace contre le Covid-19. La protection, placée entre deux cages, a réduit la transmission du coronavirus de plus de 60 %. **O. L.**

Inserm

La science pour la santé
From science to health

cité sciences et industrie

CYCLE DE CONFÉRENCES

Santé en questions

Le cerveau, fabrique de nos émotions

Jeudi 24 septembre 2020 de 19h à 20h30

Joie, surprise, tristesse, colère… ces émotions ultra-familières nous sont indispensables pour nous adapter au monde qui nous entoure. Elles entretiennent un dialogue avec notre corps, notre cerveau et notre environnement. Elles ont un rôle de protection et sont nécessaires à notre existence, à notre survie.

Auditorium de la Cité des sciences et de l'industrie à Paris

INTERVENANTS

- **Philippe Fossati**

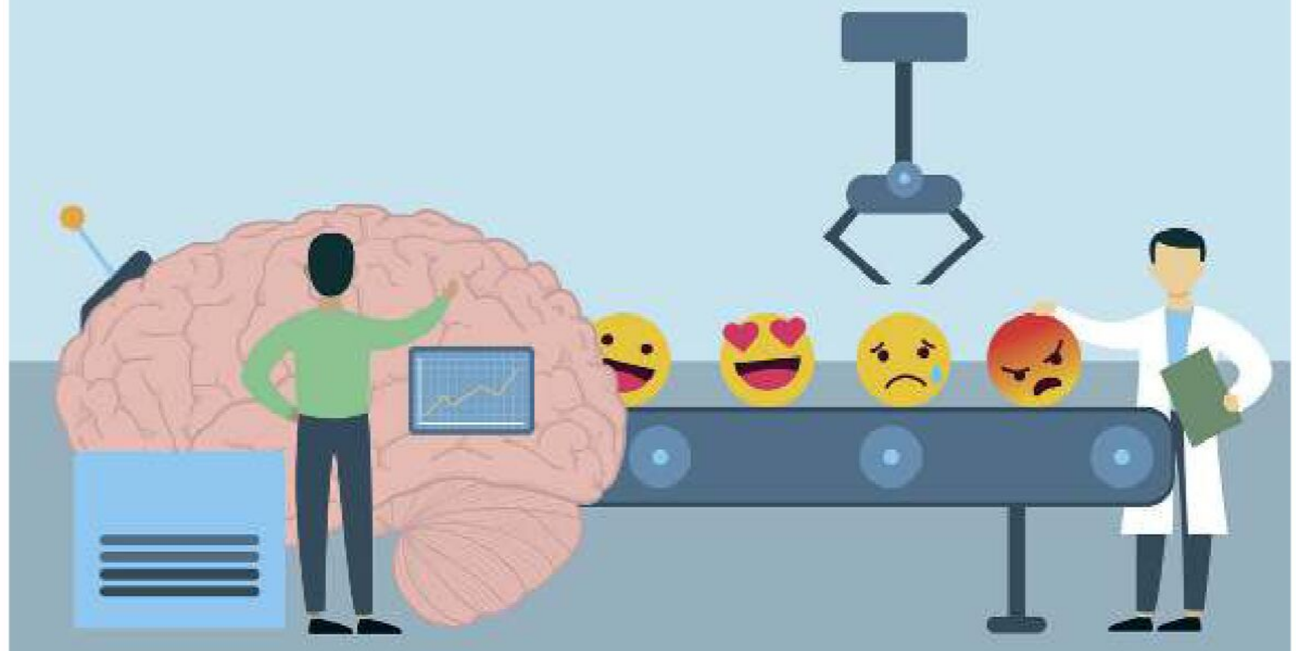
Psychiatre, chercheur à l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (unité 1127 Inserm, Paris)

- **Denis Peschanski**

Directeur de recherche CNRS, historien, Centre européen de sociologie et de science politique (CNRS/Université Paris 1/EHESS), co-responsable scientifique du programme 13-Novembre (Inserm/CNRS/HESAM)

- **Carine Dautrey**

Psychologue spécialiste en psychologie comportementale et cognitive, Association Française de Thérapie Comportementale et Cognitive



inserm.fr et cite-sciences.fr

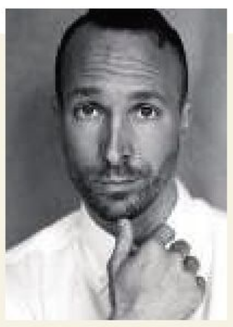
La Recherche · SCIENCES ET AVENIR · THE CONVERSATION · casden · VILLE DE PARIS · ?!

VAINCRE LE MÉLANOME

À VOIR SUR LE NET

Un filtre Snapchat alerte sur les dangers du soleil

ONCOLOGIE L'association Vaincre le mélanome vient de lancer sur l'application Snapchat un filtre pour sensibiliser aux effets néfastes de l'exposition au soleil. L'image en réalité augmentée permet de voir l'action protectrice d'accessoires comme des lunettes, chapeaux ou la crème solaire. En France, chaque année on estime à 15 000 le nombre de nouveaux cas de mélanome et à près de 1600 les décès. **S. R.-M.** sciav.fr/881melanome



THOMAS MAËS-MARTIN

QUESTIONS À

Thomas Maës-Martin,

coordinateur du collectif Baclohelp de professionnels et de patients traités par le baclofène contre l'alcoolodépendance.

Un coup pour rien pour le baclofène

Le 18 juin, la justice française a stoppé la vente du Baclocur, un médicament à base de baclofène du laboratoire européen Ethypharm, tout juste autorisée.

Pourquoi avez-vous déposé un recours pour stopper la sortie du Baclocur ?
Le problème est que la dose maximale de prescription a été plafonnée par l'Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM) à 80 mg, sur la base d'études contestables. Or le traitement par le baclofène repose sur une augmentation progressive et quotidienne des doses jusqu'à atteindre un palier propre à chaque individu, où celui-ci éprouve une « indifférence » à la boisson. La dose moyenne se situerait autour de 180 mg.

L'autorisation risque donc d'être contre-productive ?
Nous avons calculé qu'une telle limitation va exclure environ deux tiers des patients. Ceux-là penseront que le traitement ne fonctionne pas, alors qu'en fait, ils n'auront pas atteint le stade d'« indifférence ».

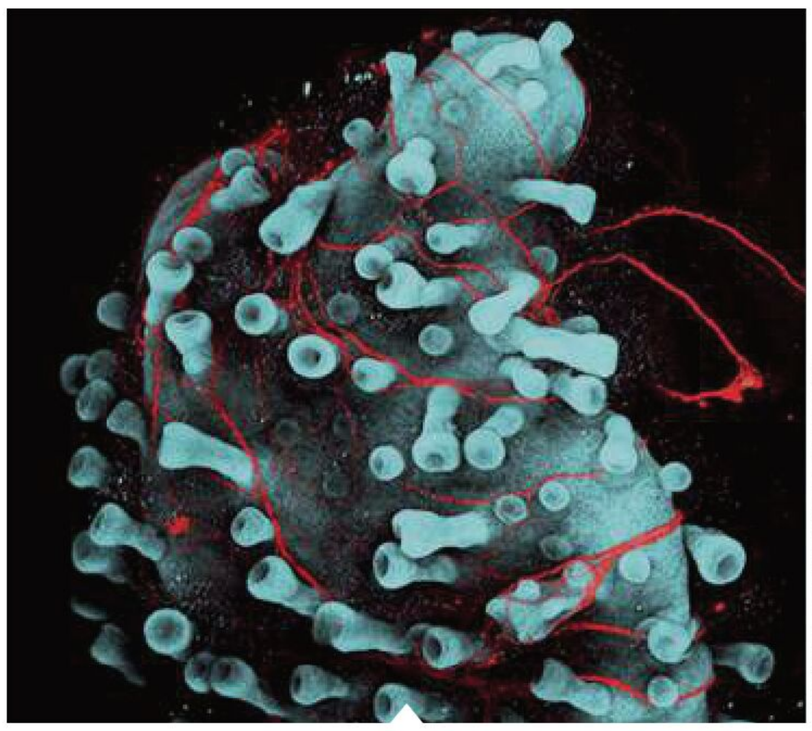
Quelle suite à cette interdiction ?
L'ANSM peut contester la décision de la justice devant le Conseil d'État. De notre côté, nous demandons de porter la dose maximale à 300 mg. Car un traitement à cette dose peut parfaitement être entamé de façon sûre dans un cadre hospitalier, avant qu'un généraliste ne prenne le relais.Et l'ANSM n'a jamais documenté de cas d'intoxication pour des doses élevées.

Propos recueillis par H. R.

BRAVO LE LABO

Ils ont fait pousser de la peau avec des poils

DERMATOLOGIE Si des laboratoires cultivent de l'épiderme à partir de simples cellules depuis 40 ans, jamais des chercheurs n'avaient réussi à obtenir les couches inférieures de la peau, derme et hypoderme, où se mêlent les nerfs, la graisse, de petits muscles et les follicules pileux. C'est chose faite ! De fins organoïdes ont été cultivés pour produire toute la diversité cellulaire d'une peau entière, jusqu'aux cellules responsables du toucher. Et des poils, bien entendu. **H. J.**



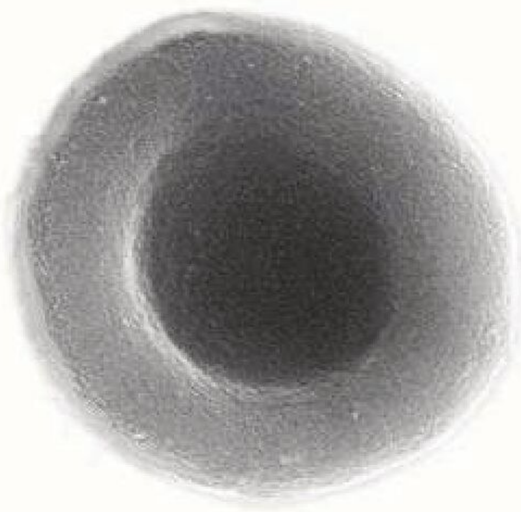
JIYOON LEE, BOSTON CHILDREN'S HOSPITAL

Des follicules pileux en développement (bourgeons bleus) et des nerfs incrustés (en rouge) apparaissent sur l'organoïde de peau humaine développé en laboratoire.

SOURCE : JIYOON LEE, HARVARD MEDICAL SCHOOL, ÉTATS-UNIS.

Le premier « village Alzheimer » français a ouvert

NEUROLOGIE Le Village landais Alzheimer, premier du genre en France, a accueilli ses premiers résidents à Dax (Landes). 120 malades d'Alzheimer peupleront les « maisonnées » organisées autour d'activités ouvertes au grand public. Une étude, menée par le CHU de Bordeaux, déterminera si l'accompagnement personnalisé améliore la qualité de vie des patients, le ressenti des familles et le bien-être des soignants. **E. S.**



◀ **Réalisé en polymères,** le globule peut transporter oxygène ou médicaments.

ACS NANO 2020

Voici le premier globule rouge artificiel fonctionnel

BIOLOGIE L'exploit a été réalisé à l'université du Nouveau-Mexique à Albuquerque (États-Unis) : des scientifiques ont réalisé des globules rouges artificiels souples et capables de transporter de l'oxygène sur de longues distances comme leurs homologues naturels. Réalisés en polymères recouverts de membranes naturelles, ils pourront également transporter des médicaments anticancéreux ou piéger des toxines bactériennes. **M. N.**

PUBLICITÉ

Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre… les capacités du cerveau sont illimitées.

Au rythme du cerveau

Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.

Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.

Des études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. À l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.

Théorie des signatures

La Théorie des Signatures était une méthode d'observation dans l'Antiquité, selon laquelle l'aspect des plantes était une indication de leurs bienfaits pour le corps. La science moderne a depuis confirmé l'efficacité de certaines plantes sur la partie du corps à laquelle elles ressemblent. Ainsi débarrassée de sa coque, la Noix ressemble fortement à un cerveau. Elle est riche en Omegas et en antioxydants, et plusieurs études ont montré ses bienfaits sur la mémoire.

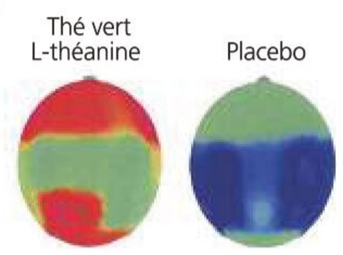
Indispensable irrigation

Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène y entraîne des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial. La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

B comme bénéfiques

Le cerveau utilise aussi une multitude de vitamines et minéraux pour fonctionner. Un apport suffisant en vitamines B est particulièrement bénéfique pour maintenir des fonctions cognitives normales (mémoire, concentration, attention). La vitamine B5 par exemple est essentielle à la production de neurotransmetteurs, des substances chimiques qui permettent aux signaux électriques de passer d'un neurone à l'autre pour faire circuler l'information.

Le cerveau passé au scanner



L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration. Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles. Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.

Cerveau Clair 60 cp est disponible en pharmacie et espaces diététiques sous le code **ACL 295 18 63**

Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 84 24 11 61 (tarif local).

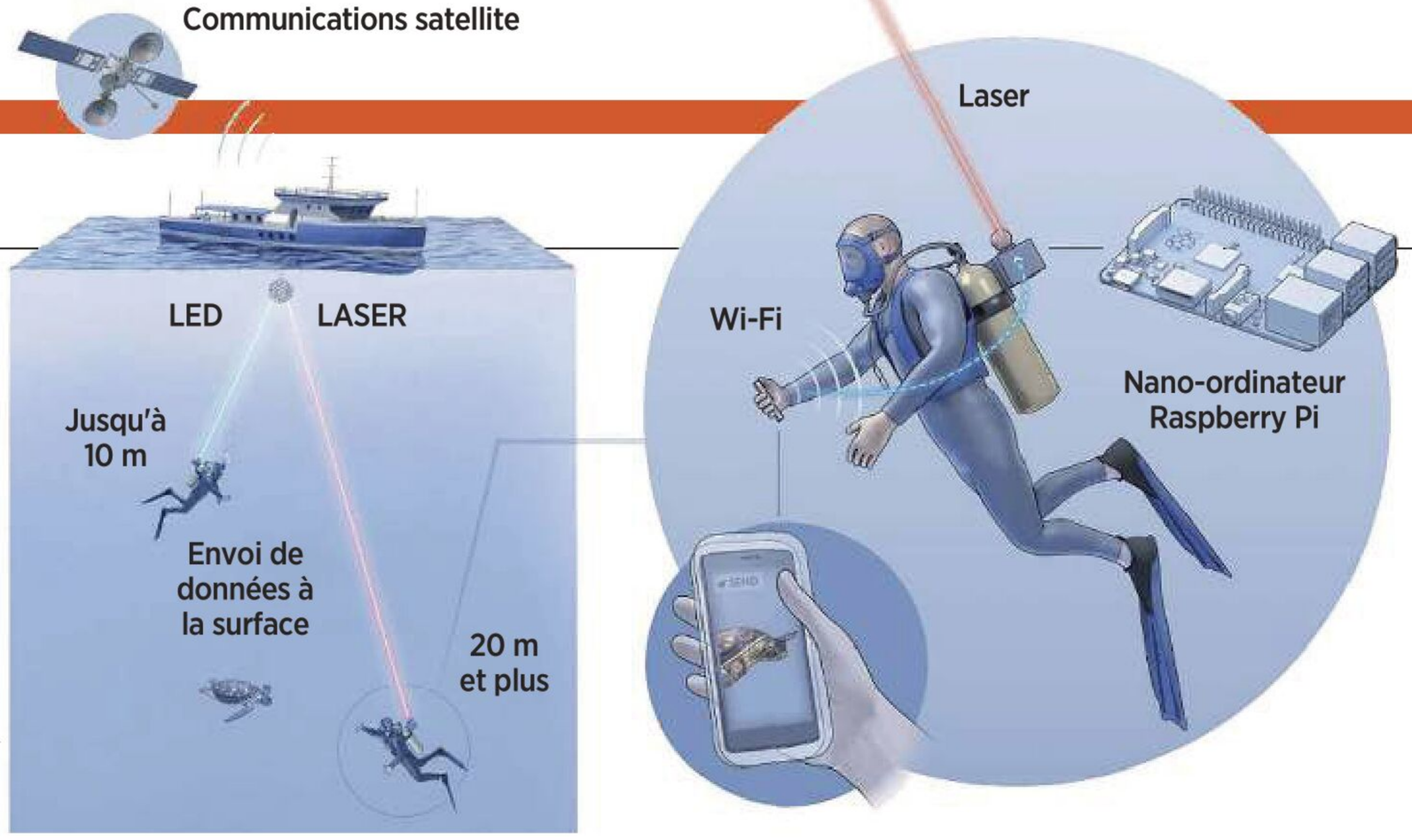
www.vitalco.com

Les médicaments arrivent tout seuls à la maison

NURO

Des véhicules autonomes électriques assurent les livraisons.

TRANSPORTS Aux États-Unis, pour répondre à la demande en période de distanciation sociale, la chaîne de pharmacies CVS teste depuis juin la livraison à domicile de médicaments par des véhicules autonomes de la société américaine Nuro. Celle-ci était déjà associée à des chaînes d'épicerie et de pizza pour livrer courses et repas. Ici, les livraisons se font autour d'une pharmacie de Bellaire, petite ville de l'agglomération de Houston. **O. H.**



2020 KAUST ; XAVIER PITA

Muni d'un smartphone et d'un ordinateur étanches, le plongeur transmet des photos à un ordinateur en surface.

Un « Wi-Fi » pour rester connecté en plongée

Cette technique combine signaux radio et lumineux pour faire transiter des données numériques des profondeurs vers la surface.

COMMUNICATIONS Internet pourrait bien arriver… sous l'eau ! Des chercheurs de l'université Kaust en Arabie saoudite viennent de développer une technologie baptisée Aqua-Fi qui combine signaux radio et lumineux pour faire transiter des fichiers multimédias entre un plongeur et un ordinateur à la surface. Pour envoyer une photo depuis un smartphone étanche, le signal est d'abord transmis par ondes radio à un ordinateur placé sur le dos du plongeur. L'information est ensuite envoyée vers la surface grâce à des LED ou un laser, selon la distance à parcourir. Pour l'heure, la vitesse de transfert atteint 2,11 mégaoctets par seconde sur une distance de quelques mètres. Et le système est limité par le fait que le faisceau lumineux doit être parfaitement aligné entre l'émetteur et le récepteur, ce qui n'est pas toujours faisable, notamment lorsque la mer est agitée. Aussi les chercheurs envisagent-ils de construire des récepteurs sphériques pour capter le faisceau selon un angle plus large. **J. I.**

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

À VOIR SUR LE NET

Une IA veut concurrencer La mère Poulard

ROBOTIQUE Des ingénieurs de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) ont fait appel à une intelligence artificielle pour apprendre à un bras robotisé à faire des omelettes. *« Avec suffisamment de données d'échantillonnage et de techniques statistiques appropriées, les données subjectives* [telles qu'un goût agréable] *peuvent être raisonnablement quantifiées »*, assurent-ils. Finalement, les omelettes se sont révélées « délicieuses ». **A.-S. T.** sciav.fr/881omelette

Les fibres optiques ressentent les fanfares

GÉOLOGIE Lors de la Rose Parade, organisée à Pasadena (Californie, États-Unis), des géologues ont réussi à mesurer les ondes sismiques produites par le passage des fanfares et des chars. Ils ont utilisé pour cela des fibres optiques souterraines de télécommunication où des vibrations de quelques millimètres ont pu être détectées. **F. D.**

SOURCE : Z. ZHAN, CALTECH, ÉTATS-UNIS.

MEIJI UNIVERSITY

Cinq tubes contenant chacun un composé chimique permettent de restituer toutes les saveurs.

Tous les goûts sont dans la sucette

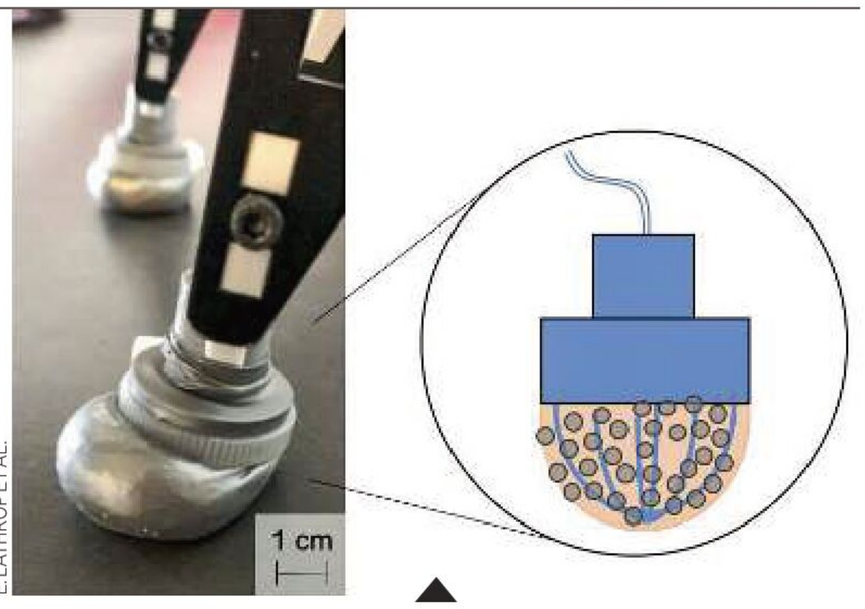
PERCEPTION Une « sucette » qui restitue n'importe quel goût : voilà l'objectif d'un chercheur de l'université Meiji à Tokyo (Japon) avec son « synthétiseur Norikami ». Elle est constituée de cinq tubes contenant chacun un composé chimique capable de restituer n'importe quelle saveur. À l'intérieur, un gel sous une forme ionique, c'est-à-dire chargé électriquement. En appliquant une tension électrique, il est possible de faire varier la quantité des composés atteignant la langue et ainsi faire varier les goûts. **O. H.**

MAGNIX

L'eCaravan a volé une demi-heure grâce à son seul moteur électrique.

L'ère de l'aviation électrique a commencé

AÉRONAUTIQUE **Pendant une demi-heure, le 28 mai à Moses Lake (États-Unis), un avion Cessna 208B Grand Caravan a volé propulsé uniquement par un moteur électrique. C'est l'une des étapes clefs d'un projet de la société australienne MagniX. Rebaptisé eCaravan, l'avion de 12 mètres reconverti a vu sa capacité fondre de 9 à 5 passagers pour accueillir les batteries. Son rayon d'action est d'environ 160 km.** **A. D.**



E. LATHROP ET AL.

Les petits sacs de marc de café servant de pieds au robot se comportent à la fois comme un solide et un liquide.

Un robot fort de café

ROBOTIQUE En remplissant de marc de café de petits sacs en latex qui constituent le bout des pattes d'un robot, des scientifiques de l'université de Californie à San Diego (États-Unis) ont réussi à accroître de 40 % sa vitesse de déplacement sur des terrains difficiles, notamment des graviers. Cette astuce permet d'avoir des pseudo-pieds qui se comportent à la fois comme un liquide et un solide. Au contact du sol, ils se raffermissent et épousent les irrégularités de la surface. **O. H.**

Quand un art japonais inspire des semelles

MATÉRIAUX Pour concevoir des semelles antidérapantes, des chercheurs américains se sont inspirés du kirigami, l'art japonais de la découpe du papier, proche de l'origami, qui permet d'obtenir des structures tridimensionnelles. Plutôt que du papier, ils ont utilisé des feuilles de métal et de plastique pour réaliser une série de petites pointes qui se dressent quand la semelle se plie, augmentant la friction de 20 % à 35 %. **O. H.**

DIEMUT STREBE

Des feuilles de métal et de plastique remplacent ici le papier utilisé dans l'art japonais du kirigami.

C. CASTELLUCIA

QUESTIONS À

Claude Castellucia

Directeur de recherche à Inria, coauteur d'un rapport sur les impacts de la reconnaissance faciale

Un coup d'arrêt pour la reconnaissance faciale ?

IBM a annoncé arrêter de travailler sur la reconnaissance faciale tandis que Microsoft et Amazon ont suspendu la fourniture de leurs outils aux polices américaines.

Que signifient ces annonces ?
La reconnaissance faciale est un sujet très sensible. Malgré les progrès réalisés ces dernières années, les techniques restent très imparfaites. Certains systèmes fonctionnent de manière plus satisfaisante sur des personnes à la peau blanche que sur des personnes à la peau foncée, sur des hommes que sur des femmes, sur des quadragénaires que sur des adolescents. D'où des discriminations désormais bien documentées. Étant donné les événements aux États-Unis, à la suite de la mort de George Floyd, ces sociétés ont préféré suspendre leurs programmes.

Le problème des biais alimente un débat récurrent : pourra-t-il être réglé ?
Il résulte principalement des bases de données utilisées pour entraîner les algorithmes. Il peut donc être résolu en s'assurant que les données d'entraînement ne sont pas biaisées. Ce qui en pratique est loin d'être évident si le nombre de caractéristiques à considérer est important (couleur de la peau, origine ethnique, âge, sexe...).

Est-ce la fin de cette technique ?

Non car la reconnaissance faciale ne se résume pas à son usage policier. Ses expérimentations sont de plus en plus nombreuses dans la sécurité publique, le marketing, le paiement, la recherche de personnes égarées ou surveillées... Son principe consiste à établir un lien de proximité entre deux images de visages et se décline de différentes manières : l'authentification (vérification d'identité), l'identification (établissement de l'identité) ou le traçage (suivi d'un visage sur plusieurs images vidéo).

Propos recueillis par A. D.

Les découvertes

Astronomie, chimie, paléontologie, botanique, génétique ou informatique : les découvertes scientifiques et les percées technologiques se sont multipliées depuis vingt ans. Dans ce dossier exceptionnel, « Sciences et Avenir » vous raconte cette prodigieuse saga.

Dossier réalisé par
la rédaction, coordonné par
Mathieu Nowak

GETTY IMAGES

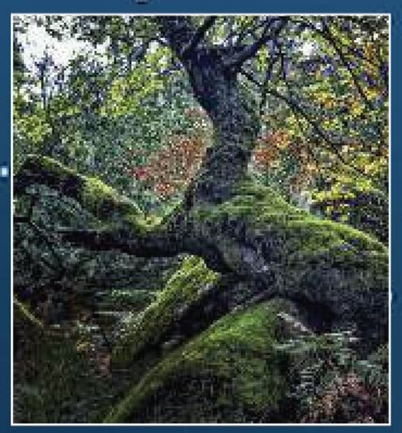
QUIZ

Plus de 50 questions pour tester votre niveau en sciences

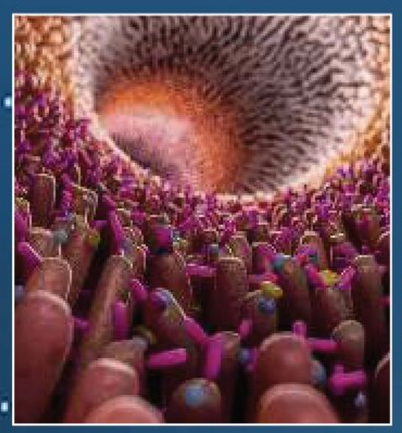
du XXIe siècle

MAX PLANCK INSTITUTE

OLIVIER-MARC NADEL



FRABRICE MILOCHAU/NATURAGENCY



SCIENCE PHOTO LIBRARY

DONALD IAN SMITH/GETTY IMAGES

FONDAMENTAL
La révélation des ondes gravitationnelles
p. 34

HISTOIRE
La famille du genre humain s'agrandit
p. 42

NATURE
La science explore l'« intelligence » des arbres
p. 48

BIO/SANTÉ
Microbiote : un monde insoupçonné
p. 54

HIGH-TECH
Intelligence artificielle : le grand bond en avant
p. 60

HARTMUT ROSA
SOCIOLOGUE ET PHILOSOPHE

« Nous aimons ce que nous ne comprenons pas complètement »

Les scientifiques partent à la découverte du monde et aident à le « rendre disponible » à l'humanité, selon les termes du philosophe allemand. Mais attention aux innovations inutiles et à l'accélération de la société qui peuvent conduire au désastre, en particulier écologique.

Le philosophe allemand Hartmut Rosa mène une réflexion sur le rapport de la société au temps. Il montre comment les progrès technologiques ne créent plus du bien-être mais de l'aliénation, contraignant chacun à accélérer pour rester au contact d'un univers changeant. Dans *Rendre le monde indisponible* (La Découverte), paru en janvier, il affirme que notre volonté d'exploiter toutes les ressources — notamment par le biais des innovations scientifiques — pousse notre environnement à nous devenir hostile. À l'heure où sa réflexion trouve un extraordinaire écho dans la crise du coronavirus, nous avons voulu savoir comment il interprétait ce coup d'arrêt inédit donné à la course du monde.

Les sociétés modernes sont soumises, selon vous, à l'impérieuse nécessité de toujours accélérer. Avez-vous été surpris par son arrêt brutal dû à l'irruption du coronavirus ?
Le phénomène d'accélération n'a cessé d'augmenter depuis deux cents ans et — comme l'a montré le philosophe Paul Virilio — même les guerres en ont été un moteur. Mais j'ai écrit dans *Accélération* (La Découverte, 2013) que la propagation d'une nouvelle maladie était l'une des manières dont ce système pouvait prendre fin. Le Covid-19 ne m'a donc pas surpris. En revanche, j'ai été étonné de la rapidité et de la radicalité avec laquelle le pouvoir politique a réagi. C'est la preuve que nous pouvons agir au niveau politique.

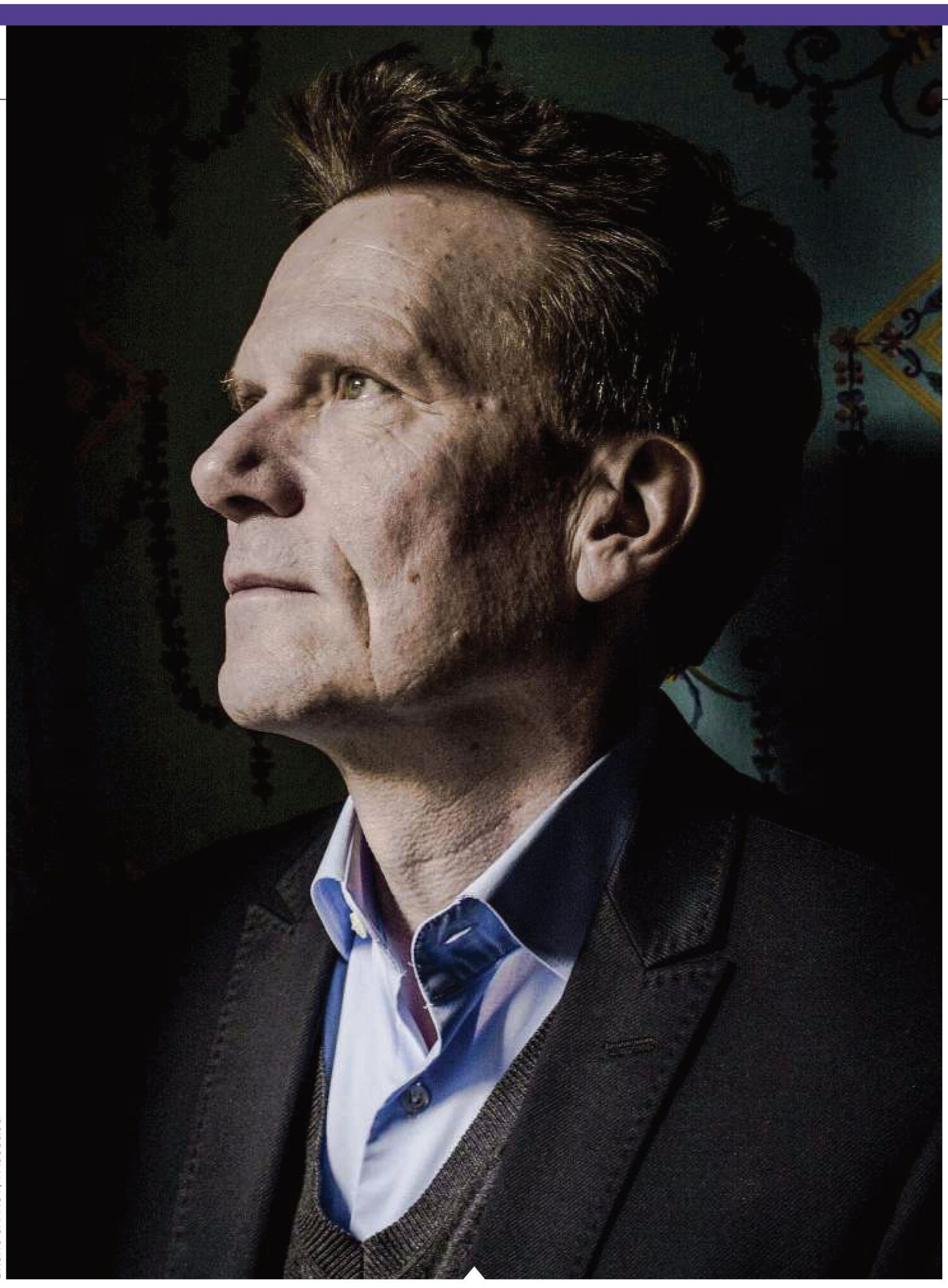
Le coronavirus est-il l'un de ces « monstres » que vous évoquez « qui sont des menaces qui nous guettent en permanence, mais que nous ne pouvons pas voir et que nous ne pouvons pas rendre disponibles » ?
Très certainement. Dans mon livre, j'ai tenté de décrire comment la modernité oriente toute sa puissance et tout son désir vers une mise à disposition du monde : elle élargit toujours les limites de ce que nous pouvons atteindre, contrôler et rendre maîtrisable et fait en sorte que la vie devienne calculable. Mais cette tentative a pour conséquence paradoxale de rendre justement le monde et la vie moins calculables ! C'est ce que j'appelle le *« retour de l'indisponible sous forme de monstre »*. Exemple avec nos smartphones : il suffit d'appuyer sur un bouton pour qu'il fasse plus chaud ou plus froid, pour que le son soit plus fort ou plus faible… Mais que la batterie se décharge et nous voilà impuissants !

BIO EXPRESS

- **1965** Naissance à Lörrach(Allemagne)
- **1986-1993** Études de philosophie et de sciences sociales à l'université de Fribourg-en-Brigsau
- **1997** Docteur en sciences sociales de l'université Humboldt de Berlin
- **2005** Professeur de sociologie générale à l'université d'Iéna
- **2013** *Accélération* (La Découverte)
- **2020** *Rendre le monde disponible* (La Découverte)

Autre exemple dans le domaine de la science : la physique moderne a scindé le noyau de l'atome dont nous utilisons l'énergie. Mais celle-ci peut échapper à notre contrôle et devenir autonome : une centrale nucléaire ou une bombe qui explosent deviennent un monstre de l'indisponible. C'est aussi la forme de notre relation à la nature que nous avons rendue contrôlable… et pourtant la crise du climat surgit tel un monstre de l'indisponible !

La démarche de recherche — et de découvertes — des scientifiques traduit-elle cette volonté de dominer le monde ?
Il faut faire la distinction entre la motivation individuelle et le système de la science. Sur le plan systémique, la science est un élément central de la mise à disposition du monde. À l'aide de télescopes et de microscopes nous rendons visible ce qui ne l'était pas ; grâce aux véhicules spatiaux, à l'endoscopie, nous rendons ce visible atteignable ; puis nous faisons en sorte que les processus découverts soient contrôlables, manipulables et autant que possible utilisables. Nombreux sont cependant les chercheurs qui sont dans cette relation que j'appelle de « réso-



BRUNO CHAROY / PASCO&CO

Hartmut Rosa est professeur à l'université Friedrich Schiller d'Iéna et directeur du Max-Weber-Kolleg d'Erfurt.

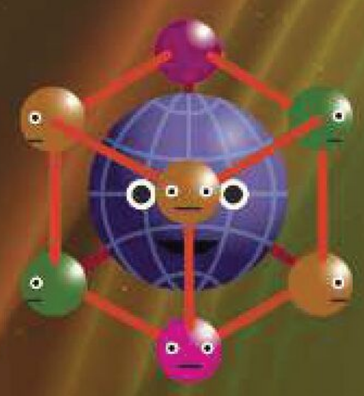
nance » au monde et à laquelle nous aspirons tous : ils entrent positivement en relation avec lui et l'objet dont ils s'occupent. Mais cela devient problématique lorsqu'ils sont institutionnellement obligés d'étendre systématiquement les limites du disponible jusqu'au point où ils savent qu'ils détruisent l'objet de leur recherche, voire le domaine de cet objet. Cela se passe de manière frappante dans les laboratoires lorsque l'on torture ou tue des animaux au nom de la connaissance et du progrès.

LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'intégralité de cette interview sur **sciencesetavenir.fr**

Quelle est la motivation derrière les innovations techniques ?
Les innovations ont toujours été soit une réaction à une crise — parce qu'un usage ne fonctionnait plus à la suite d'une maladie, d'une guerre… —, soit le produit du hasard ou d'une curiosité individuelle. Aujourd'hui, selon un principe de « stabilisation dynamique » historiquement unique en son genre, les innovations techniques sont nécessaires pour conserver ce qui existe (les emplois, etc.). Ainsi, pour vendre, les fabricants de smartphones doivent sans cesse développer des gadgets dont personne ne veut. Cette logique vaut pour tous les domaines. Résultat : nous sommes dans un constant rapport d'agression à la nature, à la politique et à nous-mêmes puisque nous devons en permanence nous améliorer, jusqu'à l'épuisement.

Quelle différence faites-vous entre un monde « disponible » et un monde « atteignable » ?
Lors de l'irruption d'un virus, l'aspiration à la disponibilité est justifiée : plus vite un vaccin ou un médicament sera trouvé, mieux ce sera. Mais l'idée qui consiste à mettre sous contrôle toute la vie se retourne en son contraire. Cela est dû au fait que nous ne ressentons la vitalité et l'émotion que lorsque nous sommes à la limite du disponible et de l'indisponible. Ainsi, nous aimons une personne, un paysage ou une musique tant que nous avons le sentiment qu'il existe encore quelque chose que nous ne comprenons ni ne maîtrisons complètement. C'est la différence entre le disponible et l'atteignable. Un monde dont nous pourrions complètement disposer serait muet, silencieux, mort.

Cet arrêt inédit de l'accélération dû au Covid-19 est-il une opportunité ?
Le Covid-19 a, pour la première fois, provoqué une décélération radicale hormis pour le numérique, agrandissant encore l'écart avec le monde physique. La crise a brisé les vastes chaînes d'interaction globales qui permettaient à la société moderne de fonctionner, ce qui permet de voir surgir l'opportunité d'un changement de paradigme social. Hélas, il semblerait que nous fassions tout pour revenir vers l'ancienne voie, bien que nous sachions qu'elle nous mène à un désastre écologique et à une crise politique… ■ **Propos recueillis par Carole Chatelain et Dominique Leglu**
Traduction Sara de Lacerda



FONDAMENTAL

Ondes gravitationnelles : les débuts d'une nouvelle astronomie

Grâce à la récente détection de ces phénomènes prédits par Einstein, les astrophysiciens vont pouvoir mieux comprendre les événements les plus violents de l'Univers.

Enfin ! L'événement s'est produit pour la première fois le 14 septembre 2015 et a été baptisé GW150914. Même si les physiciens l'attendaient depuis un siècle, ils ont été surpris, tant ils avaient élaboré — en vain ! — des montagnes d'astuces pour le capter. Ce jour-là, une onde gravitationnelle a été détectée par les deux antennes de l'observatoire Ligo aux États-Unis, l'une dans l'État de Washington, l'autre en Louisiane. Soit rien de moins que la confirmation de l'existence de cette infime vague de l'espace-temps par ces bras laser de 4 kilomètres de long, capables de mesurer une dilatation et contraction d'un milliardième de milliardième de mètre ! Et la victoire posthume d'Albert Einstein qui l'avait prédite comme une des conséquences de sa théorie de la relativité générale : toute masse qui accélère quelque part dans l'Univers devrait émettre des vibrations balayant l'espace entier. C'est le cas lorsque deux astres compacts se rapprochent l'un de l'autre jusqu'à fusionner. Mais, en son temps, le père de la relativité était persuadé qu'aucun instrument ne serait jamais assez sensible pour les capter.

La détection de GW150914 raconte une extraordinaire aventure. Elle a permis de reconstituer une histoire qui a eu lieu dans une galaxie lointaine, située à 1,3 milliard d'années-lumière de la Terre, lorsque deux trous noirs respectivement de 36 et 29 fois la masse du Soleil ont fusionné. Les ondes gravitationnelles émises

Le rapprochement puis la fusion de deux trous noirs engendrent des ondes gravitationnelles, infimes tremblements de l'espace-temps (vue d'artiste).

N. FISCHER, H. PFEIFFER, A. BUONANNO (MAX PLANCK INSTITUTE FOR GRAVITATIONAL PHYSICS)

correspondent aux sept dernières orbites de leur danse... leur union ayant donné naissance à un trou noir de 62 fois la masse du Soleil. Les trois masses solaires manquantes ont été converties en une énergie colossale — selon la fameuse formule $E = mc^2$ — qui a précisément généré ces ondes gravitationnelles. Dès ce premier succès, les Européens sont venus prêter main-forte avec l'observatoire Virgo près de Pise (Italie). Grâce désormais aux trois antennes (celle de Virgo et les deux de Ligo), la localisation des galaxies hôtes de ces fusions d'astres compacts a gagné en précision. À ce jour, 13 événements ont été confirmés et près de 54 attendent une vérification. Une formidable moisson.

Parmi eux, une perle : GW170817, survenu le 17 août 2017, car elle provient de deux étoiles à neutrons (ce qui reste d'une étoile ayant explosé à la fin de sa vie), respectivement 1,1 et 1,6 fois la masse du Soleil, qui a eu lieu à ▸

Après une première observation des chercheurs américains, les Européens sont venus leur prêter main-forte pour localiser les galaxies hôtes de ces fusions d'astres compacts

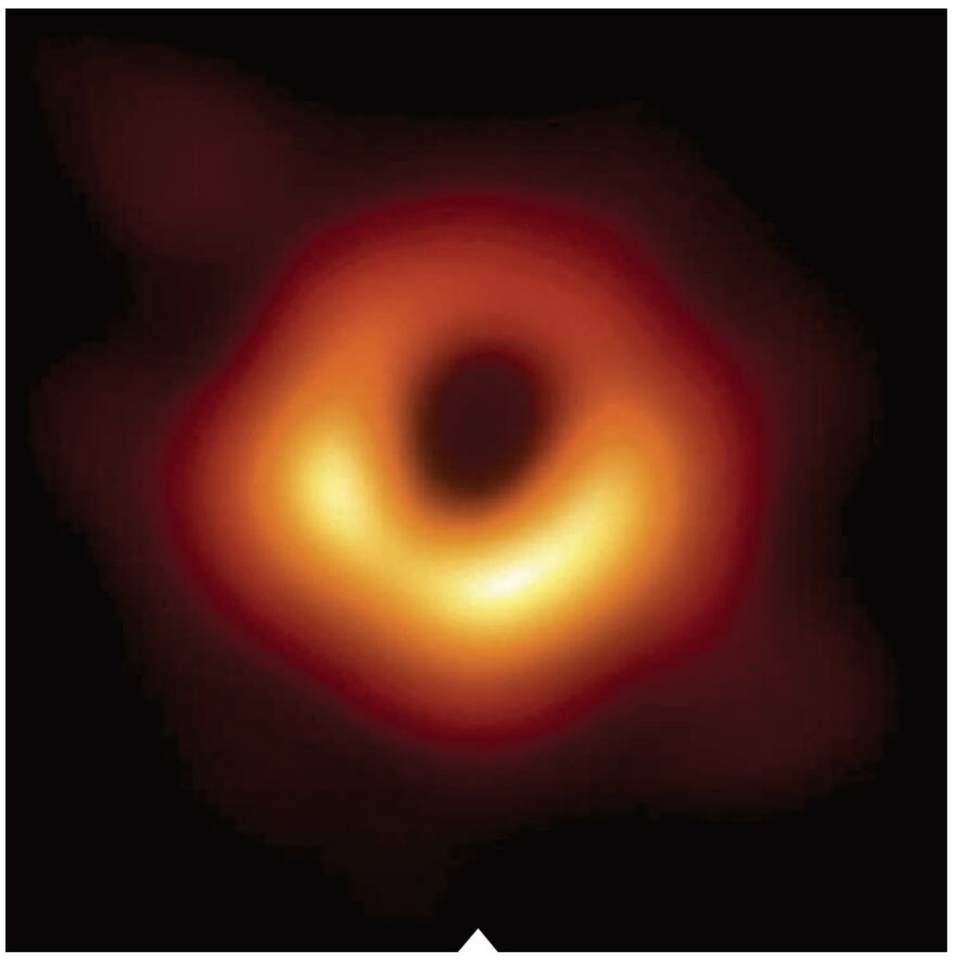
Nouvelles découvertes

130 millions d'années-lumière de la Terre au sein de la galaxie NGC4993. Or, contrairement à la coalescence de deux trous noirs qui émet uniquement une onde gravitationnelle, celle de deux étoiles à neutrons émet en même temps des ondes électromagnétiques. Ces dernières ont pu être détectées par plus de 70 télescopes terrestres et spatiaux. Le cocon lumineux entourant l'astre qui s'est formé au cours de cette fusion a été analysé. Surprise ! « *il est des millions de fois plus riche en éléments chimiques lourds comme l'or et le platine que l'environnement habituel des étoiles* », explique Frédéric Daigne, de l'Institut d'astrophysique de Paris (*lire* S. et A. *n° 853, février 2018*). Et c'est ainsi qu'une énigme de la cosmochimie a été résolue grâce aux ondes gravitationnelles, celle de la formation des éléments chimiques plus lourds que le fer, qui nécessitent une température très élevée et un milieu riche en neutrons.

Le plus excitant reste à venir

Désormais les physiciens, enthousiastes, espèrent détecter la fusion d'un trou noir et d'une étoile à neutrons, un cas encore inédit à ce jour. Et le plus excitant est à venir car, avec la détection de ces ondes, les astrophysiciens disposent pour la première fois d'un autre messager que la lumière. Et cette nouvelle astronomie est riche en promesses pour comprendre les phénomènes les plus violents de l'Univers. ■

Azar Khalatbari

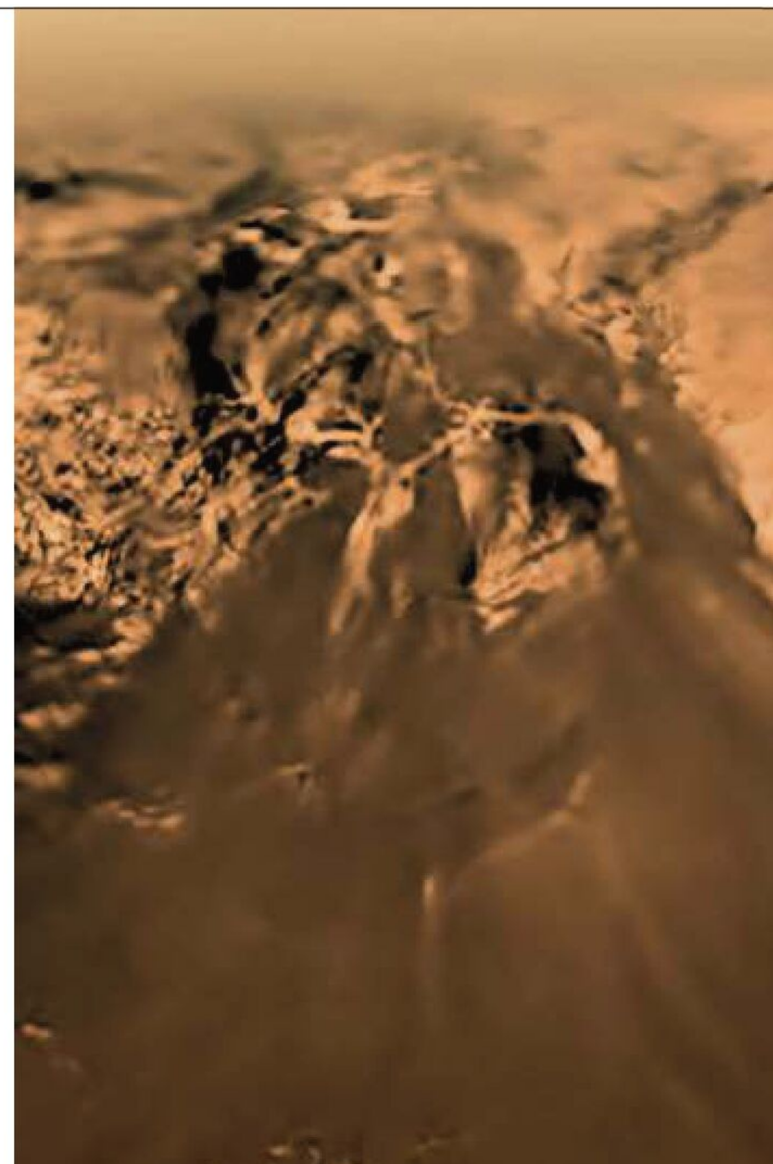


EVENT HORIZON TELESCOPE COLLABORATION

Situé au centre de la galaxie M87, l'astre compact a été observé par l'Event Horizon Telescope.

La première image d'un trou noir

Cette fois-ci c'est sûr : les trous noirs existent ! même si personne n'en doutait. En avril 2019, les physiciens ont présenté la première photo de ces astres compacts. Un exploit technique. L'élu est du genre supermassif avec ses 6,5 milliards de masses solaires et situé au cœur de la galaxie M87, à 55 millions d'années-lumière de la Terre. Pour le capter, le télescope virtuel EHT (Event Horizon Telescope) a été formé à partir de huit instruments répartis sur notre planète. Prochain objectif en ligne de mire : Sagittarius A*, le trou noir supermassif de la Voie lactée, de 4 millions de masses solaires et situé à « à peine » 25 000 années-lumière de la Terre. A. Kh.



Au cours de sa phase de descente, le module européen Huygens a livré quelque 350 images du satellite de Saturne.

En s'approchant à « seulement » 12 500 km de Pluton, la sonde New Horizons nous en a livré les premières images (illustration).

Le visage de Pluton se dessine

Après plus de neuf ans de voyage, la sonde américaine New Horizons survolait le 14 juillet 2015 la planète naine Pluton et son satellite Charron, délivrant les premières images de leurs surfaces jusqu'alors inconnues. À 12 500 km de Pluton « seulement », elle a ainsi découvert les structures polygonales de la plaine Spoutnik et observé sa fine atmosphère. Les deux corps ont été cartographiés, tandis que de nombreuses données portant sur la géologie et la composition de la surface ont été collectées. Pluton et Charron se sont aussi révélées plus actives qu'on ne le pensait, la surface de la première semblant très jeune. S. R.

NASA/JHU APL/SWRI/STEVE GRIBBEN

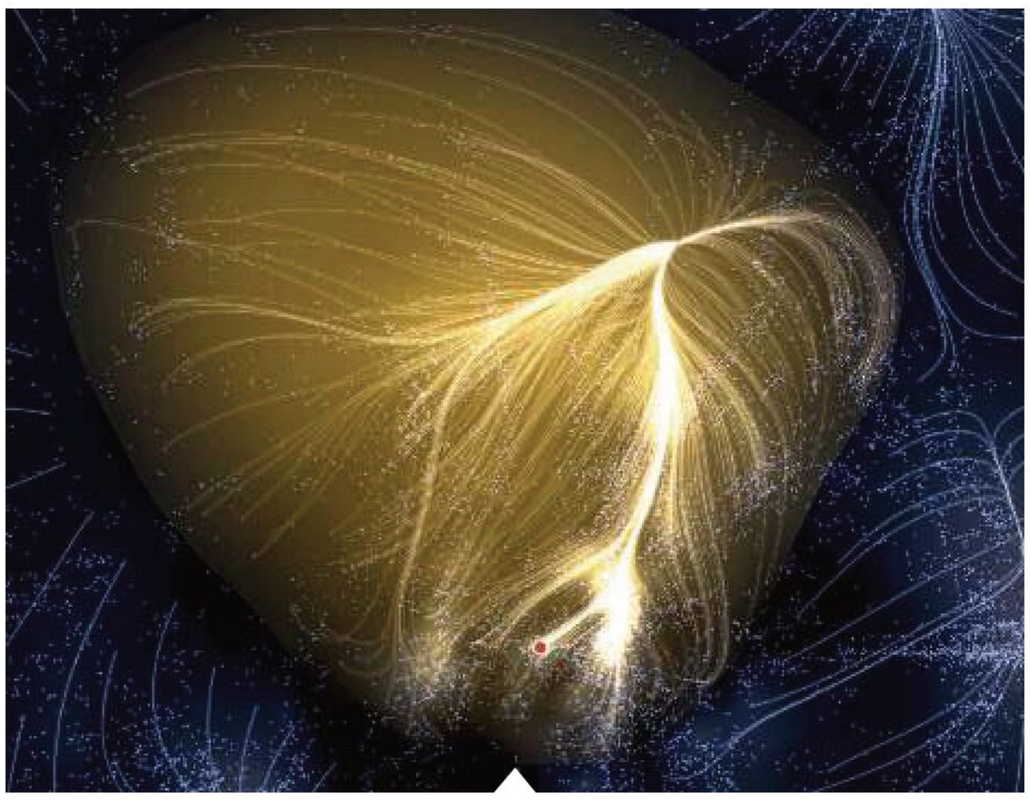
Les mystères glacés de Titan

Le 14 janvier 2005, le module européen Huygens atterrissait sur Titan, plus grand satellite naturel de Saturne. C'est le plus lointain atterrissage jamais réalisé. Un exploit ! Cachés jusque-là par une épaisse atmosphère, les paysages de Titan, dévoilés par Huygens lors de sa descente, relevaient d'une étrange familiarité : réseau de bassins versants, canyons érodés par des fleuves de méthane, côtes découpées et traînées de brume s'attardant sur un archipel, lacs d'hydrocarbures, dunes... Bienvenue en Bretagne saturnienne ! Une fois posé au sol, Huygens s'est enfoncé dans un sol mou comme un flan, parsemé de galets de glace ou de silicates. Ensuite, jusqu'en 2017, la sonde américaine Cassini a découvert sur ce nouveau monde des cycles météorologiques et des paysages dominés par des flux d'hydrocarbures. **S. R.**

ESA/NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA

Notre adresse cosmique

Laniakea (« horizon céleste immense » en hawaïen) est depuis septembre 2014 notre nouvelle adresse cosmique : une immense structure contenant des centaines de milliers de galaxies — dont la nôtre — au sein d'une région de 500 millions d'années-lumière. Elles se dirigent toutes vers une région très dense appelée le Grand Attracteur, située à 600 millions d'années-lumière de la Terre. En février 2017, une nouvelle zone a été identifiée en son cœur : la matière y est rare, et cette région vide a été nommée le Répulseur. Les galaxies se déplacent entre ces deux pôles. **A. Kh.**



MARK A. GARLICK / SPACE-ART.CO.UK

Laniakea contient des centaines de milliers de galaxies (points lumineux), dont la Voie lactée (point rouge), dans laquelle se situe la Terre.

1,1 eV
Le neutrino est encore plus léger

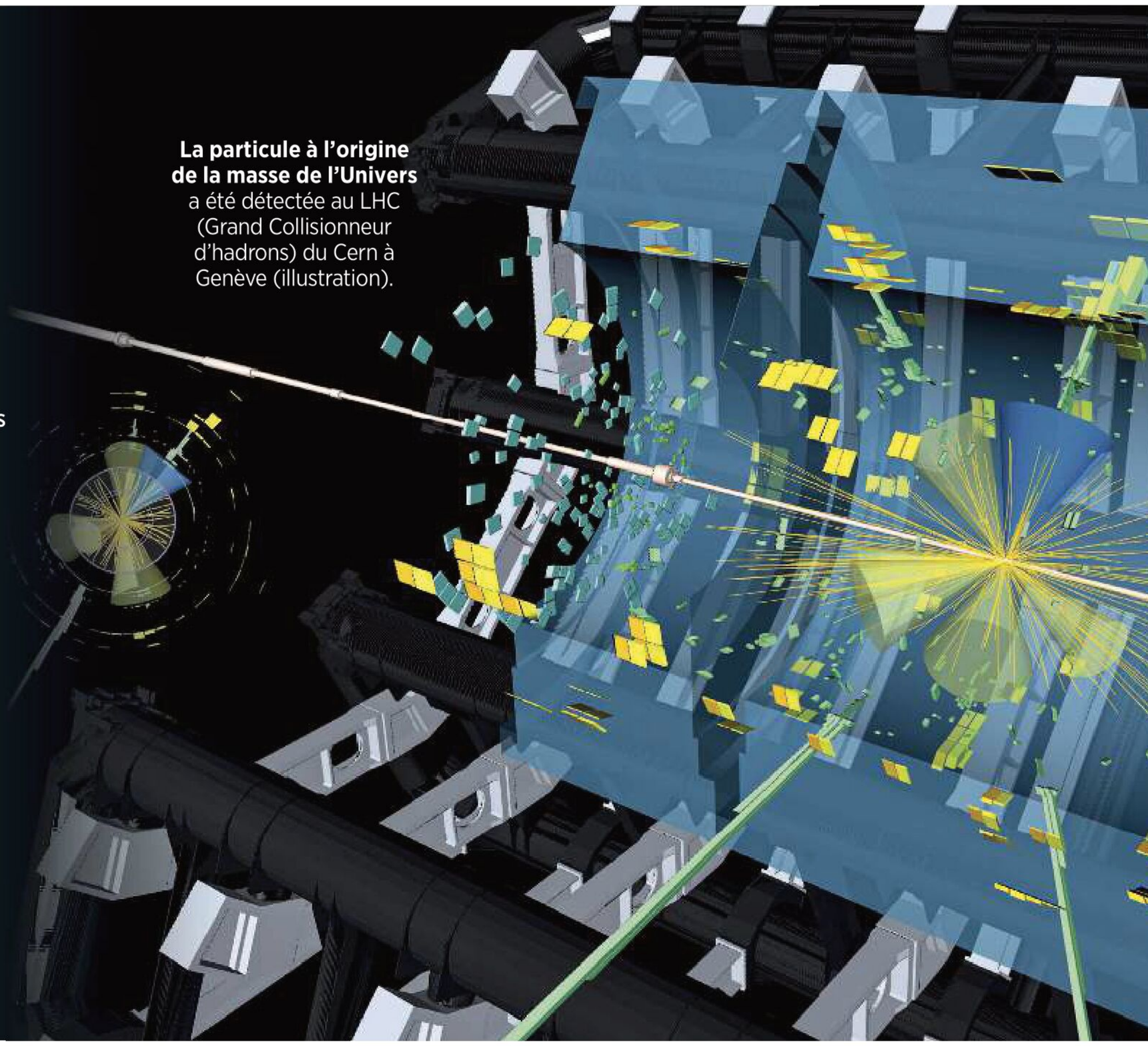
Le neutrino a révélé sa vraie nature en septembre 2019 : l'expérience Katrin menée par l'Institut de technologie de Karlsruhe (Allemagne) estime que sa masse ne peut pas dépasser 1,1 électronvolt (eV). Ce qui est certes très faible, mais le neutrino avait longtemps été considéré sans masse. En 1998, coup de théâtre : l'expérience japonaise de super-Kamiokande apporte la preuve que le neutrino « oscille ». Ce phénomène quantique se traduit par le fait que tout en se propageant, les trois sortes de neutrinos (électronique, muonique et tau) changent de nature. Or, cette « oscillation » est le signe que ces particules ont une masse. Tellement faible qu'il est très difficile de la mesurer. **A. Kh.**

Les propriétés étonnantes des métamatériaux

Au début des années 2000, les physiciens John Pendry (britannique) et David Smith (américain) développent une nouvelle classe de matériaux. Constitués de structures composites (fils, anneaux, boucles), notamment métalliques, qui se répètent à très petite échelle, ils permettent de manipuler à l'envi différents types d'ondes et se jouer des lois de l'optique conventionnelle. L'une des applications les plus prometteuses de ces métamatériaux concerne ainsi leur capacité à rendre certains objets indétectables en déviant et reformant derrière eux les ondes lumineuses. **F. D.**

Le boson de Higgs existe bien

Le monde subatomique a connu sa révolution en juillet 2012 : le boson de Higgs, dernier élément du « modèle standard » de la physique des particules — qui décrit le monde tel que nous le connaissons — a été détecté au LHC, le Grand Collisionneur d'hadrons du Cern situé près de Genève. Son existence avait été prédite soixante ans auparavant par trois physiciens, dont deux ont reçu le prix Nobel en 2013, Peter Higgs et François Englert. C'est en interagissant avec ce fameux boson que les particules élémentaires de l'Univers ont acquis une masse. Plus de 5000 physiciens ont participé à ces travaux menés indépendamment par deux équipes, Atlas et CMS, du nom des deux détecteurs qui ont enregistré les collisions de protons. C'est à une énergie de 125 gigaélectronvolts que des particules théoriquement prévues par la désintégration du Higgs sont apparues, preuve qu'il était bien passé par là. **A. Kh.**



CERN

La particule à l'origine de la masse de l'Univers a été détectée au LHC (Grand Collisionneur d'hadrons) du Cern à Genève (illustration).

INTERVIEW

MICHAËL GILLON MAÎTRE DE RECHERCHES FNRS AU SEIN DE L'UNITÉ DE RECHERCHE EN ASTROBIOLOGIE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE (BELGIQUE)

Des exoplanètes potentiellement habitables par milliards

MAXPPP

Michaël Gillon a découvert avec son équipe le système planétaire Trappist-1.

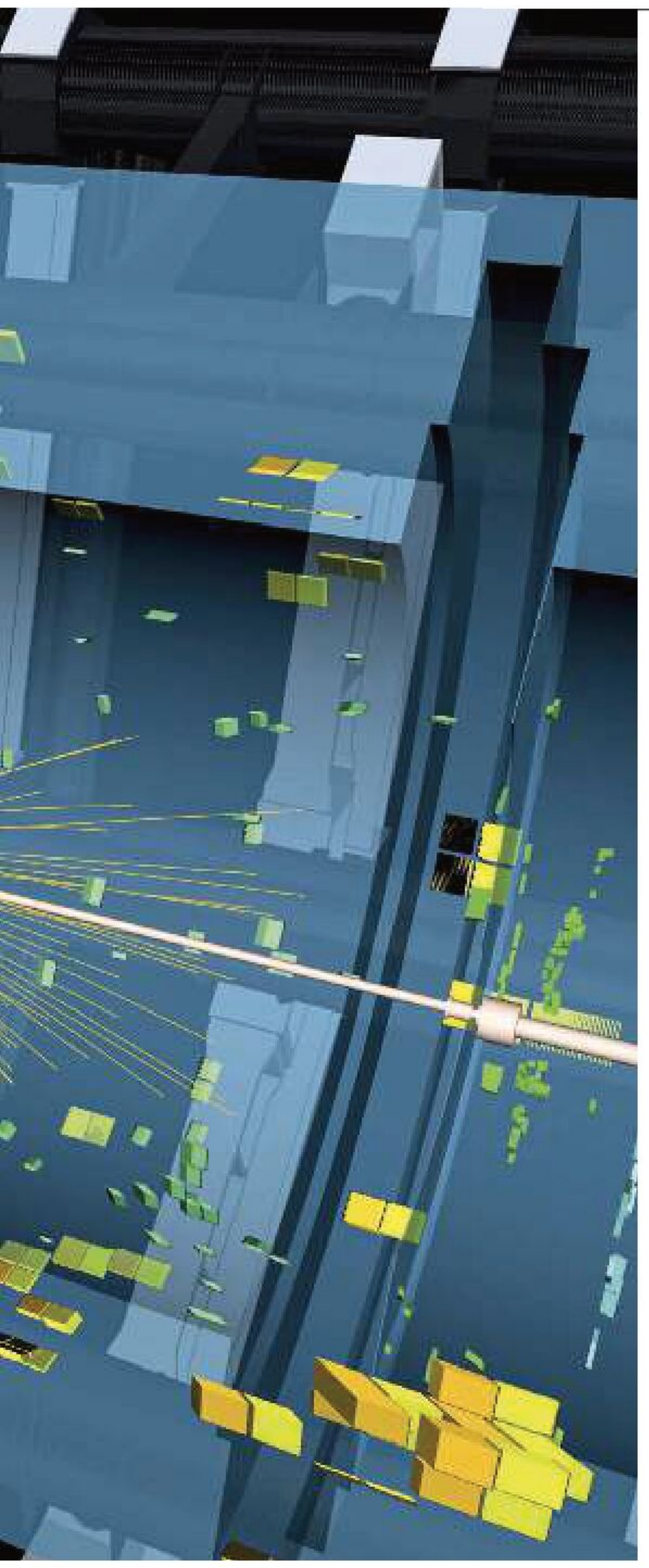
Elles sont plus de 4266 exoplanètes identifiées à ce jour, démontrant que notre étoile est loin d'être seule à posséder un cortège planétaire. Parmi elles, Proxima b, la plus proche de nous (4,2 années-lumière) et le système Trappist-1, composé de sept planètes (40 années-lumière) dont la découverte a été annoncée en 2017 par l'équipe de Michaël Gillon.

Plus de trois ans après la découverte par votre unité de ce système planétaire, que sait-on de plus ?
Nous avons pu observer plus de 500 transits de ces planètes [passages devant l'étoile]. En raison de leur présence respective, le moment du transit de chacune est légèrement décalé. En analysant ces perturbations, nous parvenons à mieux déterminer la masse de chacune et estimer leur densité, similaire à celle de la Terre. Ce qui laisse penser qu'elles ont un noyau de fer, un manteau de silicates et peut-être des éléments volatils... comme de l'eau. Car elles se sont formées très loin de leur étoile, dans un environnement riche en eau.

Qu'espérez-vous encore découvrir ?
Nous espérons observer leur atmosphère grâce au télescope James Webb, le successeur de Hubble.

Que disent ces découvertes de notre propre Terre ?
L'étoile du système Trappist, aussi bien que celle de Proxima b, est bien plus petite que notre Soleil. En ce sens, la Terre est unique. Mais ces petites étoiles sont très fréquentes dans la galaxie et autour d'elles gravitent des planètes telluriques, dotées d'une surface solide. On estime qu'il y a 20 à 30 milliards de planètes potentiellement habitables uniquement dans la Voie lactée. Cela crée beaucoup d'enthousiasme en exobiologie.

Propos recueillis par A. Kh.

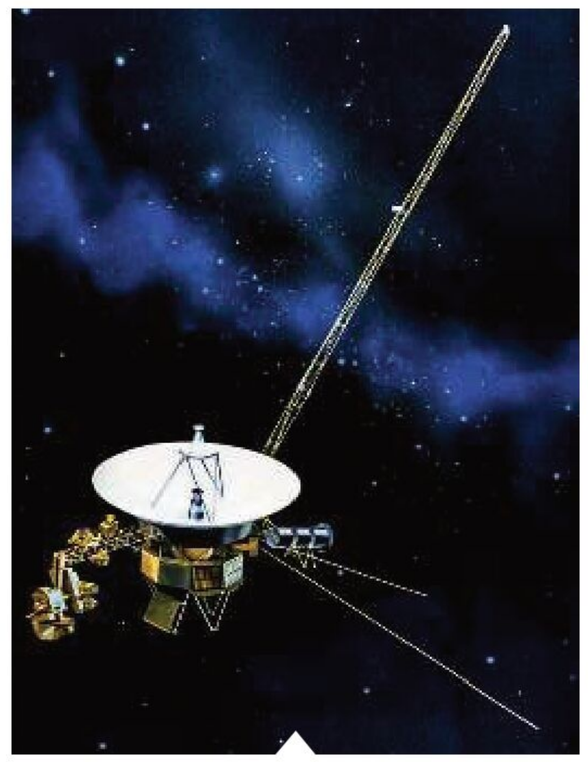


Les supra-conducteurs montent en température

Découverts au début du XXe siècle, ces matériaux expulsent les champs magnétiques qui les traversent, et leur conductivité électrique est littéralement infinie. Pour fonctionner, la plupart nécessitent toutefois des températures proches du zéro absolu (-273,15 °C), limitant très fortement les applications industrielles. Or deux équipes de physiciens en Allemagne et aux États-Unis ont pulvérisé les précédents records, en 2018 et 2019. En formant un cristal de lanthane et d'hydrogène et en exerçant une pression énorme sur ce dernier, ils ont observé un comportement supraconducteur à -23 °C et -13 °C, soit des températures quasi ambiantes. **F. D.**

Les sondes Voyager sortent du Système solaire

Initialement destinées à l'exploration des planètes géantes, les sondes jumelles de la Nasa Voyager 1 et 2 sont les premiers « artefacts » à quitter le Système solaire. Lancées en 1977, elles sont aujourd'hui à plus de 22 et 18,5 milliards de kilomètres de nous. Voyager 1 a franchi en 2012 l'une des principales frontières du Système solaire, le choc terminal de l'héliosphère, une bulle de plasma produite par les vents solaires. Voyager 2 a renouvelé l'exploit en 2018. Elles filent maintenant à plus de 50 000 km/h en direction des constellations d'Ophiuchus et du Capricorne. Les deux sondes sont à l'origine d'une exceptionnelle moisson de découvertes. **S. R.**



NASA

Voyager 2 a rejoint sa jumelle, Voyager 1, dans l'espace interstellaire (vue d'artiste).

L'Europe se pose sur la comète Tchouri

Après dix ans de voyage, la sonde européenne Rosetta a rejoint le 6 août 2014 la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko, dite Tchouri. Une première ! Installée en orbite autour d'elle, la sonde a cartographié ses paysages chaotiques avant de larguer trois mois plus tard, le 12 novembre, l'atterrisseur Philae. Les systèmes d'ancrage n'ayant pas fonctionné, celui-ci a rebondi et s'est trouvé coincé à la verticale, à l'ombre d'un rocher. Il a toutefois pu établir que la glace d'eau de surface a une composition différente de celle de nos océans, remettant en question son origine cométaire. Pendant deux ans, Rosetta a étudié les évolutions de la surface de la comète avant et après son passage autour du Soleil. S. R.

ESA

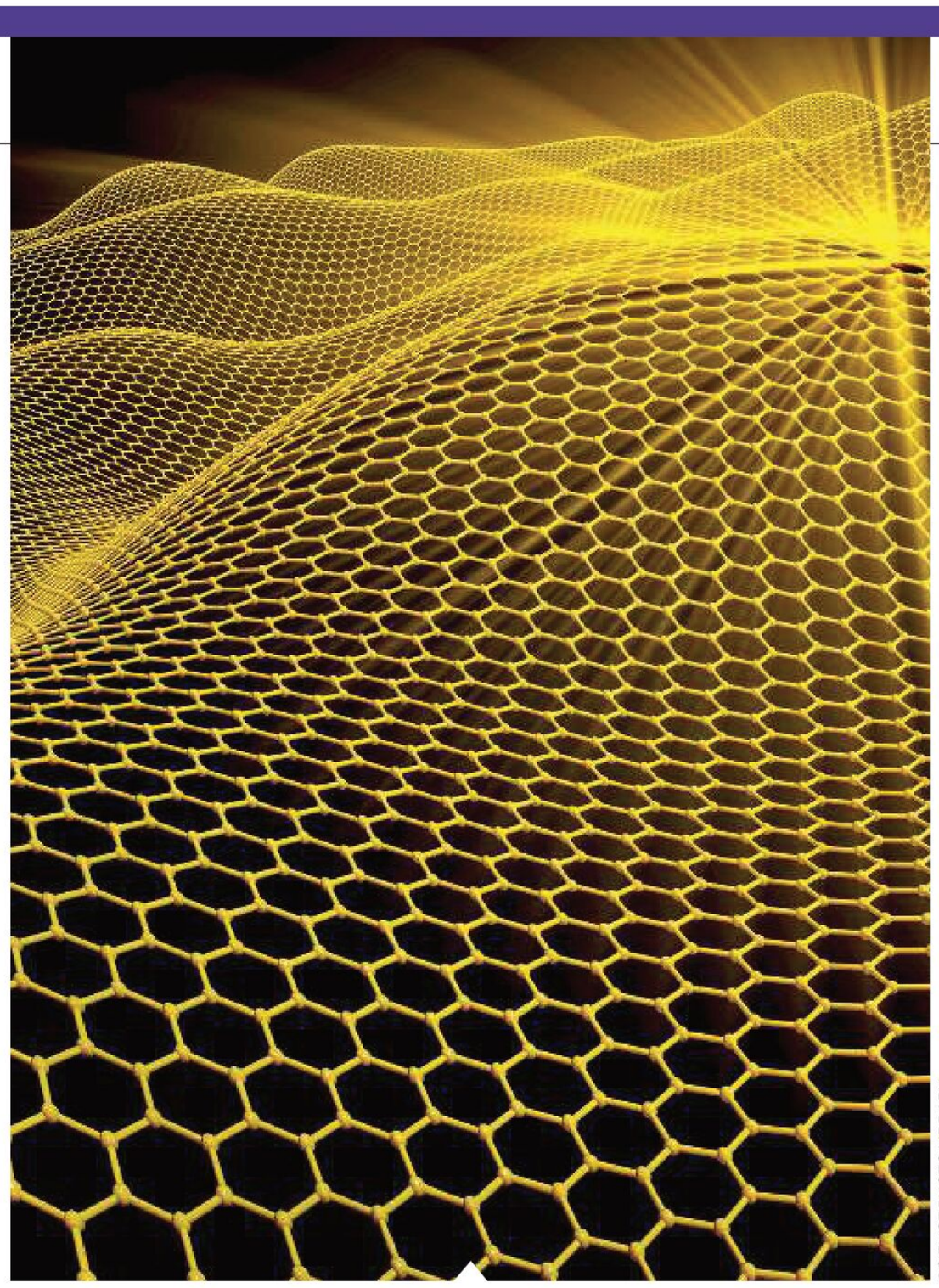
67P/Tchourioumov-Guérassimenko photographiée par la sonde Rosetta.

La conjecture de Poincaré enfin résolue

C'est le seul des sept « problèmes du millénaire », présentés en l'an 2000 par l'institut Clay pour les mathématiques (États-Unis), à avoir été résolu à ce jour. C'est le Russe Grigori Perelman qui a brisé en 2003 l'énigme de cette conjecture formulée par le mathématicien français Henri Poincaré en 1904. La conjecture de Poincaré s'inscrit dans le domaine de la topologie, cette branche des mathématiques qui étudie les propriétés des objets selon leur forme : une tasse avec anse y est ainsi l'équivalent d'une bouée, puisque l'une se transforme en l'autre par déformation continue. Mais tasse ou bouée ne sont pas équivalentes au ballon. *« En termes simples, la conjecture de Poincaré dit que tout objet sans trou peut être déformé pour devenir une sphère »*, précise Avner Bar-Hen, mathématicien, professeur au Cnam, à Paris. C'est ce qu'a démontré Grigori Perelman. **A. Kh.**

Le graphène, matériau du XXIe siècle

On en trouve désormais dans des raquettes de tennis, des drones, des batteries ultra-performantes, et même, tout récemment, dans des masques de protection contre le Covid-19. Les champs d'application semblent quasi illimités pour le graphène, star des laboratoires, qui excite toutes les convoitises industrielles et s'impose de plus en plus comme un matériau phare du XXIe siècle. Isolé en 2004 par Andre Geim et Konstantin Novoselov, chercheurs à l'université de Manchester (Royaume-Uni) qui recevront six ans plus tard le Nobel de physique, le graphène cumule effectivement les superlatifs. Il s'agit d'un cristal bidimensionnel d'atomes de carbone, le premier du genre et le plus fin qui soit, dont l'épaisseur est 200 000 fois plus petite que celle d'un cheveu. Grâce à sa structure en nid d'abeilles, cette molécule plane et géante est cependant 200 fois plus résistante que l'acier tout en étant six fois plus légère. Elle est également flexible, transparente, imperméable… et conduit beaucoup mieux le courant que le cuivre ou le silicium. D'où la multitude d'applications attendues dans le secteur des transports, de l'électronique ou de la santé. **F. D.**



SCIENCE PHOTO LIBRARY

Grâce à sa structure en nid d'abeilles, le graphène est 200 fois plus résistant que l'acier mais six fois plus léger.

Ces geysers trahissent un océan d'eau salé sous la croûte de l'astre. ◄

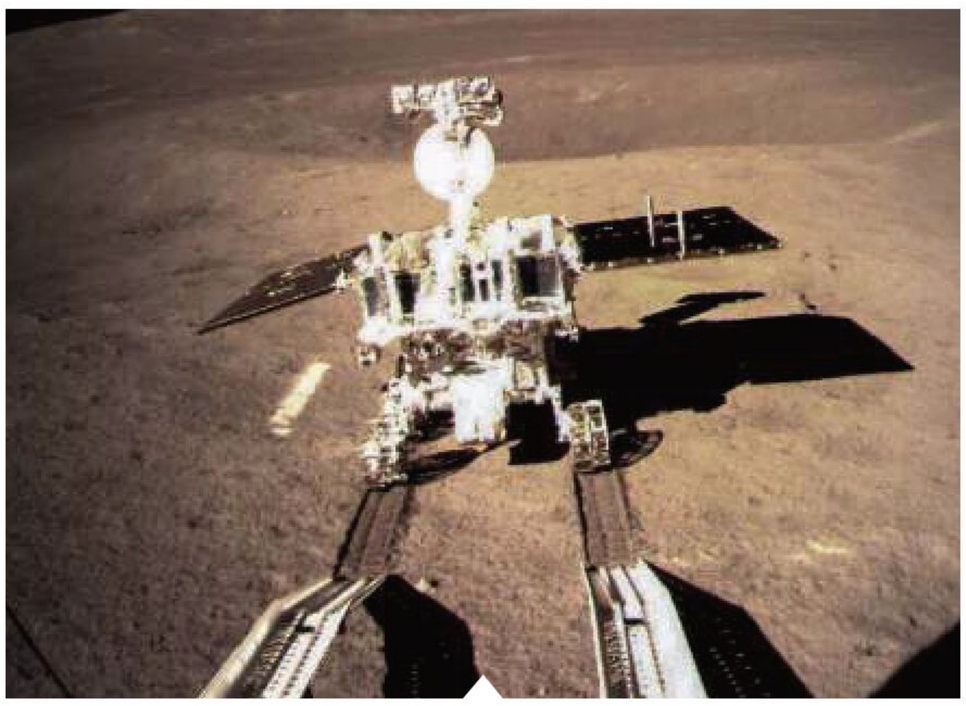
Un océan sur Encelade

La sonde américaine Cassini crée en 2005 une immense surprise en observant des geysers au-dessus d'Encelade, petite lune de Saturne de 500 km de diamètre. Ils trahissent l'existence d'un gigantesque océan d'eau salé sous la croûte de cet astre situé pourtant à 1,5 milliard de kilomètres du Soleil. Des analyses ultérieures montreront qu'il recèle également de l'hydrogène moléculaire, du méthane et de grosses molécules carbonées… et même, selon des résultats publiés en 2019, des composés organiques solubles qui sur Terre sont les précurseurs des acides aminés. Autant de preuves qu'un processus hydrothermal est à l'œuvre et que la chimie complexe qu'il génère pourrait alimenter des micro-organismes. **F. D.**

KARL KOFOED -DREXEL HILL, PENNSYLVANIA

Les Chinois sur la face cachée de la Lune

Totalement inconnue jusqu'à la mission soviétique Luna en 1959, la face cachée de la Lune a finalement reçu sa toute première visite le 3 janvier 2019. La mission chinoise Chang'e 4 — composée d'un atterrisseur et du rover Yutu 2 — s'est alors posée en douceur dans le cratère von Karman du bassin Pôle Sud-Aitken. La difficulté d'une telle mission est l'absence de communication directe avec la Terre, les ondes ne pouvant traverser notre satellite. Aussi les Chinois avaient-ils pris le soin de positionner en orbite le satellite de communications Queqiao dès mai 2018. S. R.



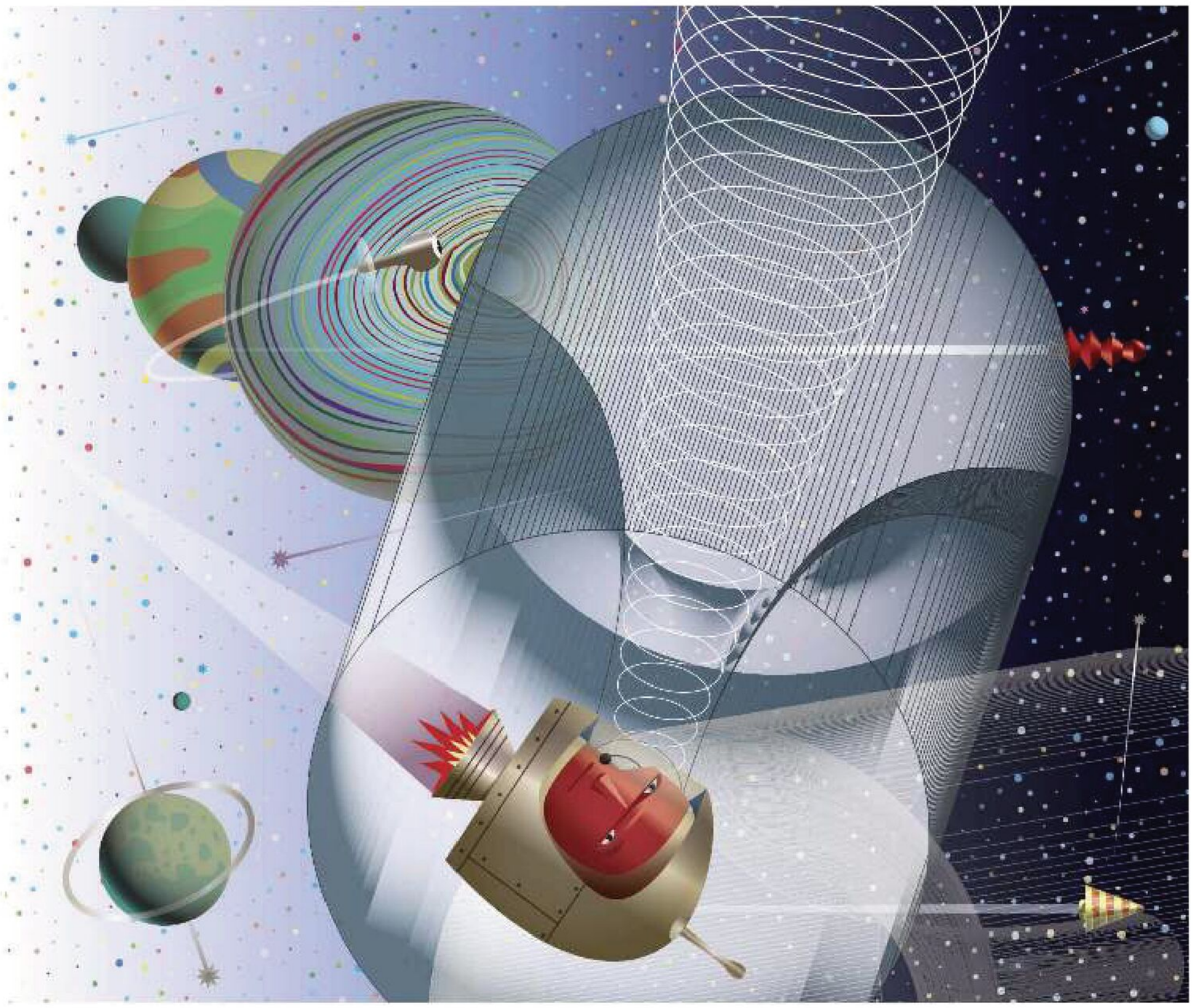
CNS / AFP

La mission Chang'e 4 est la première à explorer la face cachée de notre satellite.

Des objets extrasolaires inédits

En 2017, le télescope Pan-STARRS 1 installé à Hawaii repère un corps rocheux dont la vitesse et la trajectoire ne laissent aucun doute possible sur son origine : il vient d'une autre étoile que la nôtre et quittera notre système solaire pour ne plus jamais y revenir ! Baptisé 1L/Oumuamua (« messager » en hawaïen), cet intrus de 400 m de long est le tout premier objet interstellaire à avoir été identifié. À peine plus gros et se comportant pour sa part comme une comète, un second (dénommé 2I/Borissov) sera découvert en 2019 et suscite une intense activité de recherche. Grâce à ce type d'objets, les scientifiques espèrent glaner des informations inestimables sur d'autres systèmes planétaires de la galaxie. **F. D.**

QUIZ SCIENCES FONDAMENTALES



ILLUSTRATIONS : ROCCO POUR SCIENCES ET AVENIR

1 La coalescence de deux trous noirs de 36 et 29 fois la masse du Soleil qui a produit la première onde gravitationnelle a aussi donné naissance à :

A ☐ une étoile à neutrons
B ☐ un trou noir de 65 fois la masse du Soleil
C ☐ un trou noir de 62 fois la masse du Soleil

2 Lorsque la sonde Huygens s'est posée sur Titan, elle a découvert sous ses pieds :

A ☐ une épaisse banquise d'hydrocarbures, parsemée de glaçons de méthane
B ☐ un sol mou comme un flan, parsemé de galets de glace ou de silicates
C ☐ une roche glacée dure comme le diamant, parsemée de sable translucide

3 Laniakea, immense structure de centaines de milliers de galaxies, dont la nôtre, se déplace entre deux pôles :

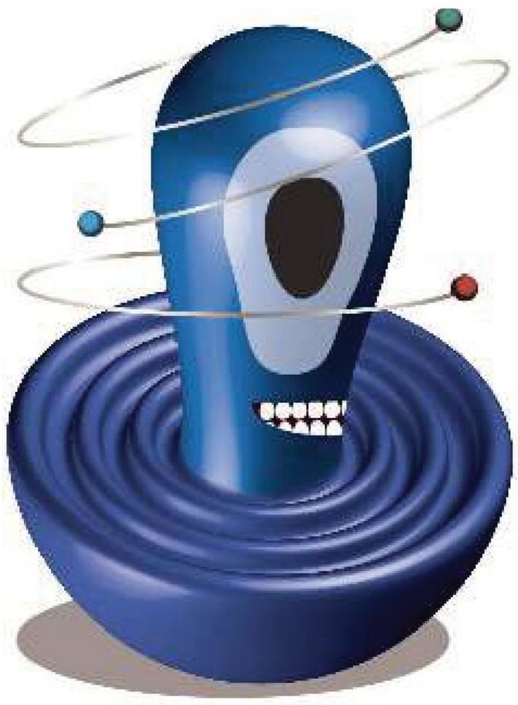
A ☐ le Grand Attracteur et le Répulseur
B ☐ le pôle du Super-Aimant et celui du Répulsif
C ☐ le pôle du Sagittaire et celui du Capricorne

4 Les métamatériaux permettent de se jouer des lois de l'optique conventionnelle et de rendre certains objets indétectables :

A ☐ en absorbant les ondes
B ☐ en imposant aux ondes un mouvement rétrograde
C ☐ en déviant et reformant derrière eux les ondes

5 Dernier élément du « modèle standard » à avoir été découvert, le boson de Higgs permet aux particules élémentaires de l'Univers :

A ☐ d'exprimer leur polarité
B ☐ d'acquérir une masse
C ☐ d'avoir des interactions électromagnétiques



6 Les deux premières sondes à avoir jamais quitté le Système solaire sont :

A ☐ les Pioneer 1 et 2
B ☐ les Voyager 1 et 2
C ☐ les Viking 1 et 2

7 La conjecture de Poincaré résolue en 2003 est :

A ☐ le premier des sept « problèmes du millénaire » résolus depuis 2000
B ☐ le septième « problème du millénaire » résolu depuis 2000
C ☐ le seul des sept « problèmes du millénaire » résolu à ce jour

8 Le graphène est un cristal bidimensionnel d'atomes de carbone d'une épaisseur :

A ☐ 200 000 fois plus petite que celle d'un cheveu
B ☐ 200 fois plus petite que celle d'un cheveu
C ☐ 6 fois plus petite que celle d'un cheveu

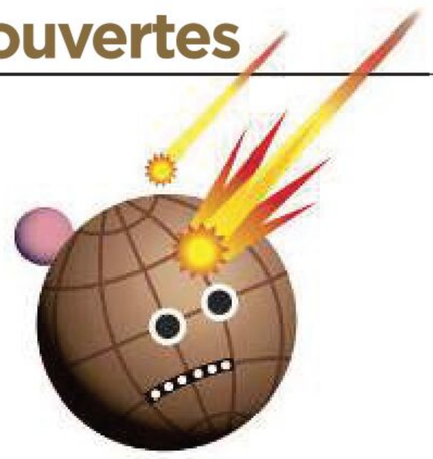
9 Les geysers d'Encelade, petite lune de Saturne, trahissent l'existence :

A ☐ d'un phénomène volcanique jusque-là insoupçonné
B ☐ de poches de gaz emprisonnées sous sa croûte glacée
C ☐ d'un gigantesque océan d'eau salée

10 Le tout premier objet interstellaire identifié dans notre système solaire a été baptisé Oumuamua, ce qui signifie :

A ☐ « messager » en hawaïen
B ☐ « visiteur » en inuit
C ☐ « compagnon » en wolof

Solutions
1 C - 2 B - 3 A - 4 C - 5 B
6 B - 7 A, C - 8 A - 9 C - 10 A



HISTOIRE

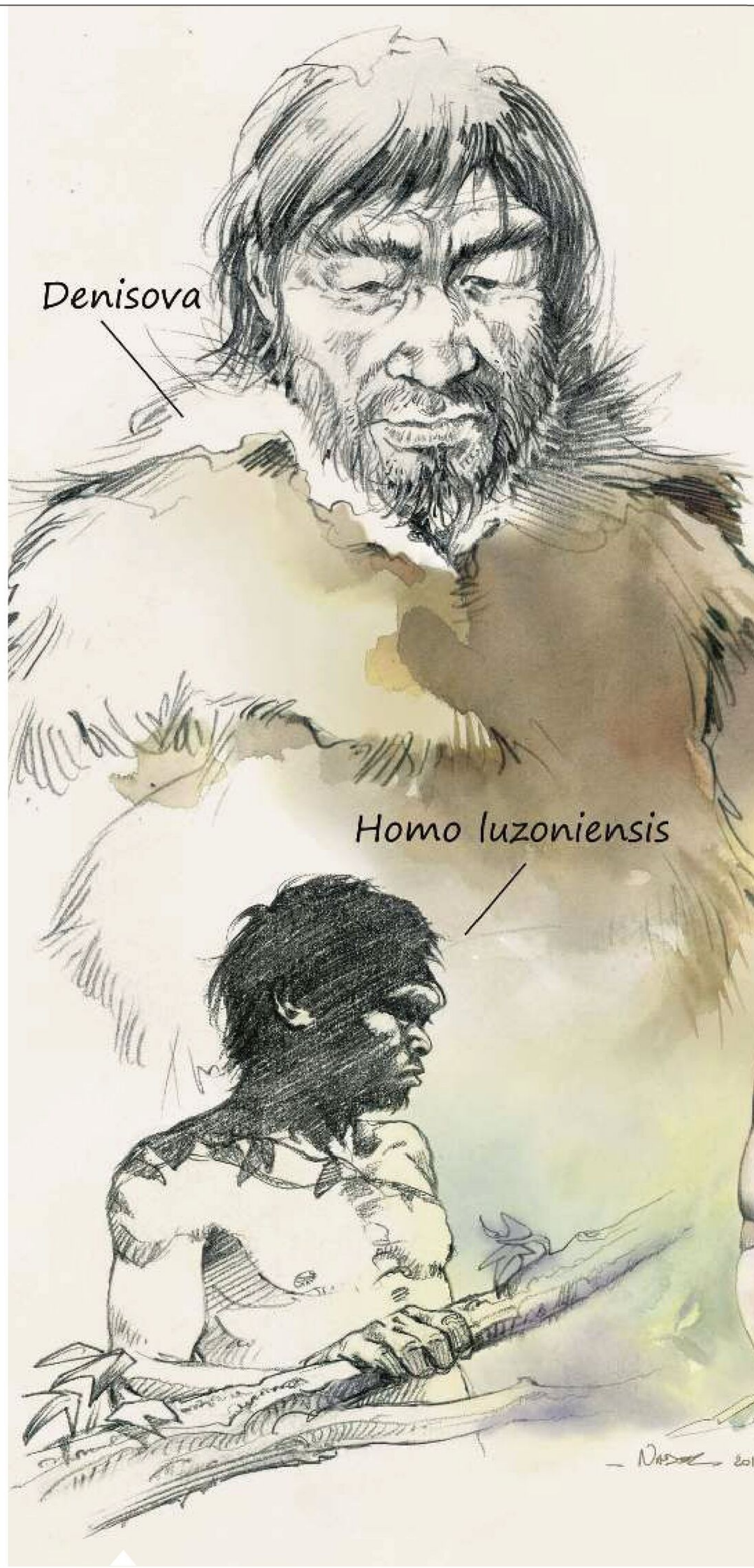
La famille du genre humain s'agrandit

De l'Afrique aux Philippines, l'analyse de fossiles a permis d'identifier quatre nouveaux « Homo » inconnus jusque-là, en plus de « sapiens » et de Neandertal. Ils ont vécu entre -335 000 et -50 000 ans.

NOTRE ESPÈCE, *Homo sapiens*, est désormais la seule du genre sur Terre, où elle compte aujourd'hui 7 milliards de membres. Les chercheurs ont longtemps pensé que Neandertal, découvert au XIXe siècle, avait été la seule autre espèce d'*Homo* à avoir vécu sur Terre. Une espèce que *sapiens* a côtoyée, y compris sur le plan charnel, puisque chacun d'entre nous — chez tous les humains d'aujourd'hui — porte une petite portion d'ADN néandertalien, variant entre 0,1 et 4 %. Mais ces vingt dernières années, une moisson de fossiles est venue étoffer le cercle des *Homos* disparus qui ont autrefois arpenté ensemble la planète. En voici la chronologie par ordre de leur apparition sur Terre.

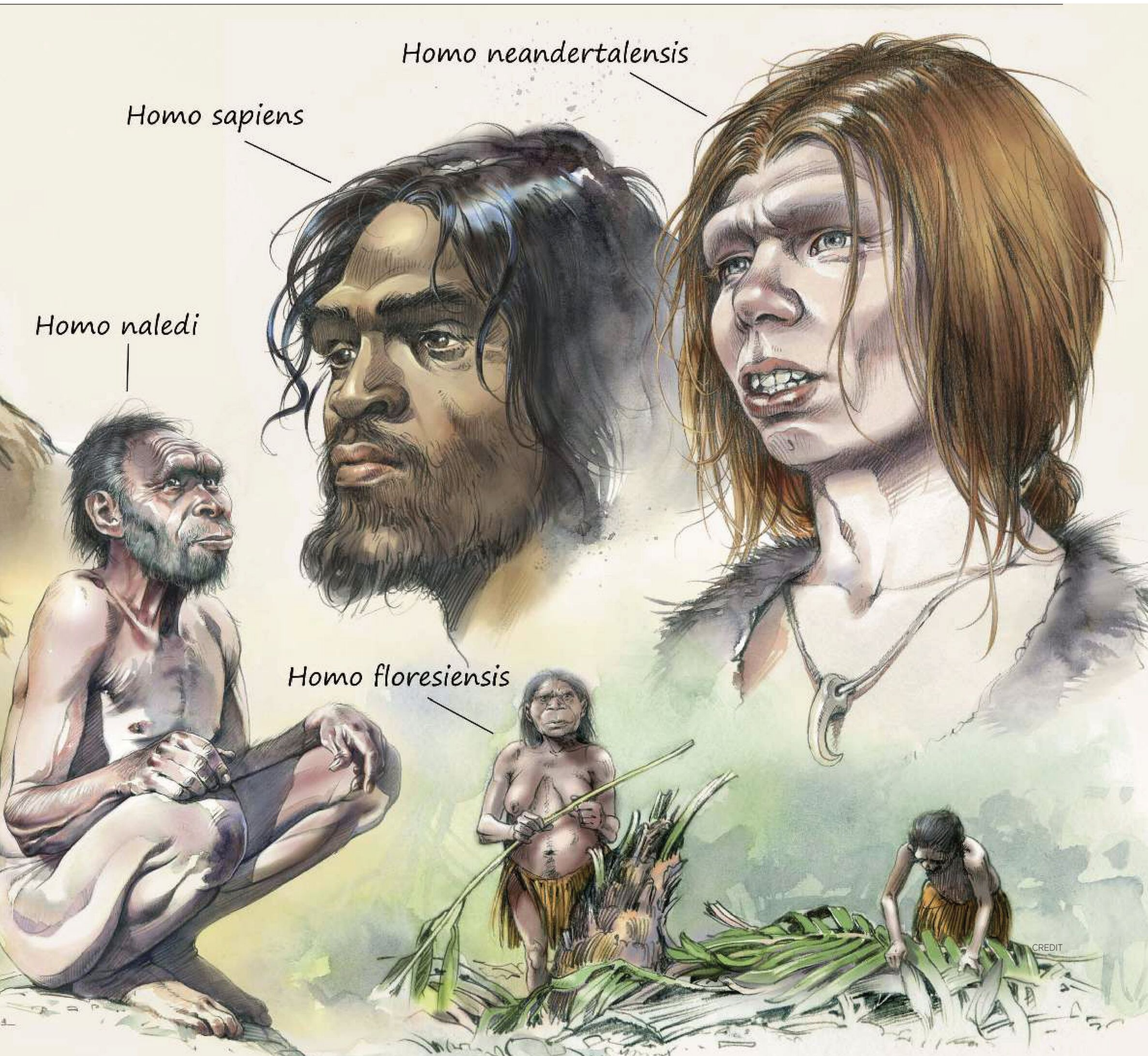
En Afrique, ce ne sont pas moins de 1500 ossements appartenant à une quinzaine d'individus (enfants, adultes, et vieillards) qui ont été extirpés en 2013 d'un réseau de grottes... au point que les scientifiques se sont demandé s'ils avaient trouvé une tombe collective. Il s'agit en fait d'*Homo naledi*, 1,50 mètre, petite tête et doigts courbes, qui crapahutait dans le sud du continent entre -335 000 ans et -263 000 ans. Il a vécu en même temps, sinon aux côtés, des tout premiers *Homo sapiens*, prospérant quand notre propre espèce sortait tout juste des limbes en Afrique du Nord. C'est en effet au Maroc, toujours en 2015, que les plus anciens *H. sapiens*, datés de -315 000 ans, ont été découverts par une équipe menée par le professeur du Collège de France Jean-Jacques Hublin avec le Marocain Abdelouahed ben-Ncer, professeur à l'Institut national des sciences de l'archéologie et du patrimoine à Rabat.

En Eurasie, l'humain de Denisova, le plus mystérieux d'entre tous, n'a été identifié qu'à partir d'une phalange, celle d'une fillette de



OLIVIER-MARC NADEL

Ces six espèces du genre « Homo » se partageaient la planète il y a quelque 50 000 ans.



10 ans, exhumée dans la grotte du même nom en Sibérie. L'espèce, qui a vécu entre -200 000 ans et -40 000 ans, s'est déployée vers l'est. L'analyse d'une mâchoire retrouvée au XXe siècle au Tibet, a permis d'établir en 2020 que cette espèce était porteuse d'une particularité génétique permettant de résister au manque d'oxygène en altitude — particularité qui se retrouve aujourd'hui chez les Sherpas du Népal —, ce qui indique qu'elle a été l'une des premières à s'aventurer sur les hauts sommets, il y a 67 000 ans. Il est à

L'humain de Denisova, qui s'est déployé vers l'est, a été l'une des premières espèces à s'aventurer sur les hauts sommets

noter que l'identification de la mâchoire a été permise grâce à l'analyse des protéines : la paléoprotéomique, discipline récente développée en Allemagne, promet encore de belles trouvailles, puisque les protéines se conservent bien mieux que l'ADN. Les dénisoviens se sont par ailleurs hybridés avec les néandertaliens et ont légué jusqu'à 1 % de leurs gènes aux Mélanésiens d'aujourd'hui.

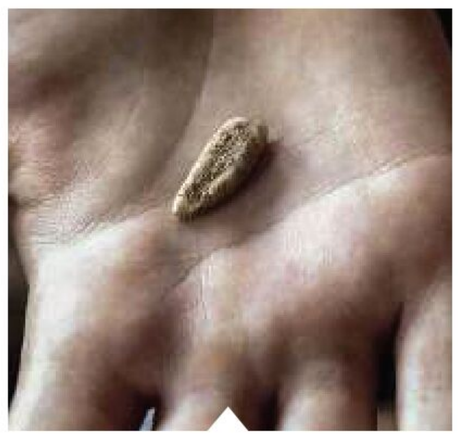
Controverses et mystère en Asie

Plus récent, l'humain de Flores (*Homo floresiensis*), âgé de 50 000 à 95 000 ans, s'est, lui, « miniaturisé » en Asie, atteignant 1,10 m à peine, avec un cerveau de la taille d'une orange, dans un environnement sans prédateur et aux ressources limitées. Sa découverte en 2004 sur l'île indonésienne où il cohabitait avec des rats géants a soulevé de vives controverses. S'agissait-il d'un *Homo sapiens* atteint de microencéphalie ou d'une nouvelle espèce ? Les scientifiques penchent aujourd'hui majoritairement pour la seconde hypothèse.

Enfin, le petit dernier est l'humain de Luzon (*Homo luzonensis*), découvert en 2019 aux Philippines par une équipe menée par le Français Florent Détroit. L'hominidé a vécu entre -67 000 ans et -50 000 ans. Ses caractères primitifs, arboricoles, et ses pieds d'australopithèque, étonnent à une époque si récente. Isolé sur son île, peut-être a-t-il vu son génome et sa morphologie dériver ? Quitte à retourner dans les arbres ? Dernier mystère : comment ce petit être a-t-il pu gagner son île à une époque où elle n'était pas accessible à pied sec. ■ **Rachel Mulot**

Le plus âgé des Français est un enfant

Ce n'est qu'une quenotte, ayant appartenu à un enfant âgé de 5 ou 6 ans… mais découverte en 2018 sur le site de la caune de l'Arago, à Tautavel, près de Perpignan. Et elle fait reculer l'âge du plus ancien fossile découvert dans l'Hexagone. Cette incisive a en effet 100 000 à 110 000 ans de plus que les couches qui avaient livré en 1971 le célèbre homme de Tautavel, vraisemblablement un néandertalien, jusqu'alors réputé le « premier des Français ». La dent, exhumée dans des couches de -560 000 à -550 000 ans, est en cours d'étude au microscope et au scanner pour tenter d'en apprendre plus sur la croissance et l'alimentation de son petit propriétaire. R. M.



DENIS DAINAT, EPCC-CERP TAUTAVEL

La dent de lait mise au jour à Tautavel est datée d'environ - 560 000 ans.

Des traces d'ADN de -75 millions d'années extraites d'un dinosaure

Stupeur dans la communauté scientifique. Des cellules de cartilage, des protéines, des chromosomes et donc… de l'ADN vieux de 75 millions d'années auraient été isolés chez un dinosaure à bec de canard retrouvé dans le Montana (États-Unis) par une équipe internationale, dont la Française Alida Bailleul. Pourtant, l'ADN aurait une durée de conservation maximale théorique de 6,8 millions d'années, dans les meilleures conditions possibles, soit à -5 °C. En 2014, une équipe suédoise avait toutefois annoncé avoir découvert des chromosomes et des noyaux dans une fougère fossile de 180 millions d'années. Cette fois, les substances observées chez l'hadrosaure se sont liées à un colorant réputé pour ne réagir qu'avec l'ADN. **R. M.**

Le monde maya resurgit de la jungle

Pyramides, palais… Jamais depuis leur découverte au XIXe siècle, les cités mayas n'avaient été révélées dans toute leur phénoménale extension comme l'a permis la technologie du Lidar (Light Detection And Ranging) en ce début de troisième millénaire. Au Guatemala et au Mexique, ce système de télédétection a mis au jour des milliers de structures dissimulées depuis des siècles sous une canopée émeraude, comme récemment la plus grande plate-forme cérémonielle (400 m), à Aguada Fenix, au Mexique *(lire p. 16)*. De même pour les réseaux de routes révélant l'ampleur des interconnexions entre les cités. Ce qu'aucune cartographie classique n'avait établi. Une révolution qui met en partie fin aux fastidieuses prospections au sol à travers les épaisses jungles. **B. A.**

JON G. FULLER/ZUMA/REA

AFP

Daté de -3600 ans, le disque a été découvert en Allemagne.

L'envoûtant disque de Nebra

Avec ses 32 centimètres de diamètre et sa belle couleur bronze incrustée de fragments d'or, le « disque de Nebra » constitue la représentation la plus précoce connue en Europe des mouvements du ciel. Daté de -3600ans, il a été retrouvé en 2000 près de Leipzig (Allemagne). Y figurent 32 étoiles, la constellation des Pléiades, un croissant de Lune et un Soleil ou une pleine Lune. Des éléments en bordure formeraient l'horizon et une embarcation. Ainsi, deux siècles avant les Mésopotamiens (1400 avant J.-C.), des populations européennes de l'âge du bronze représentaient la voûte céleste. Ce disque est associé au cycle des saisons, des solstices et de la course de l'astre solaire. B. A.

Les vestiges de cités mayas, (ici Tikal, dans le nord du Guatemala) sont disséminés dans la jungle et difficiles d'accès.

2,1 millions d'années

Un peuplement précoce en Chine

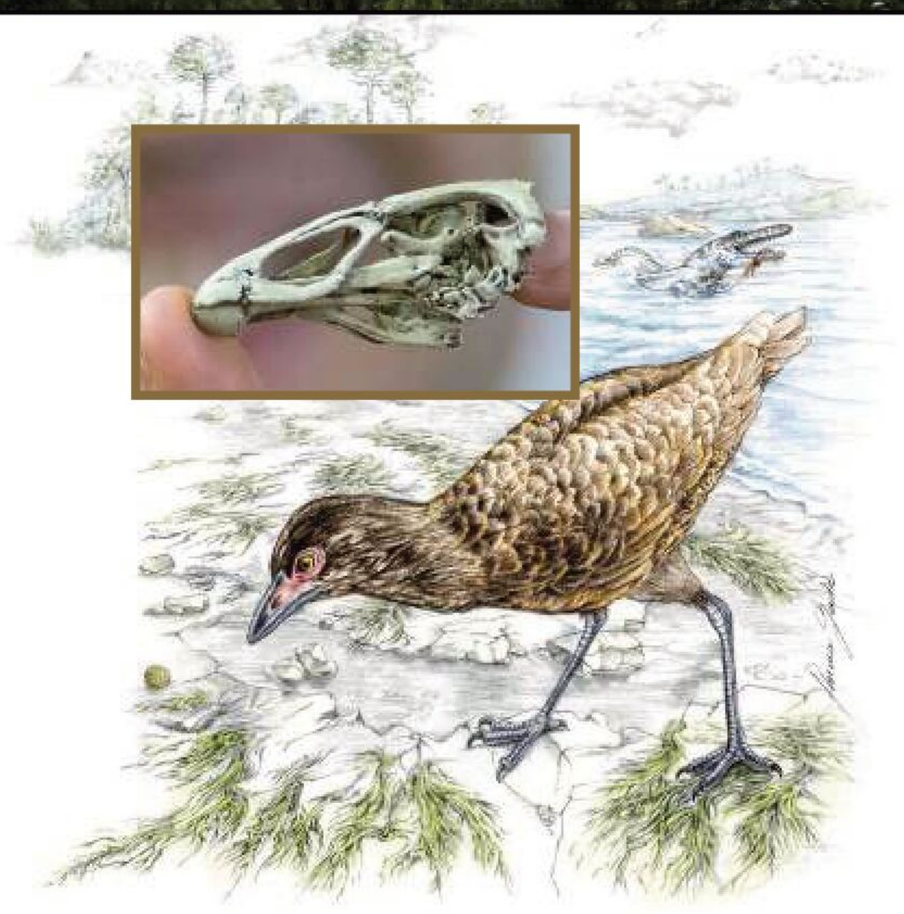
La migration des humains hors d'Afrique a débuté très tôt, il y a plus de 2 millions d'années, confirme la découverte en 2018 d'outils en Chine, sur le plateau de Loess. Ils ont été datés de -2,1 millions d'années selon une équipe sino-britannique. Ces outils taillés en quartzite témoignent que cette partie de l'Asie a été peuplée très tôt par des *Homo*, possiblement des *erectus*. **R. M.**

Le nom de Khéops sur les papyrus de la mer Rouge

C'est une des découvertes les plus extraordinaires réalisées au pays des pharaons ! Celle des plus anciens papyrus d'Égypte — et donc du monde — exhumés en 2013 sur le site de Ouadi el-Jarf proche d'un port antique de la mer Rouge par l'archéologue français Pierre Tallet (Sorbonne Université). Vieux de 4500 ans, ces manuscrits sont les seuls documents contemporains du pharaon Khéops (2589-2566 avant J.-C.) parvenus jusqu'à nous. Ils évoquent clairement la construction de la Grande Pyramide. **B. A.**

GAËL POLLIN/MISSION ARCHÉOLOGIQUE DU OUADI EL-JARF

Les manuscrits évoquent la construction de la Grande Pyramide.

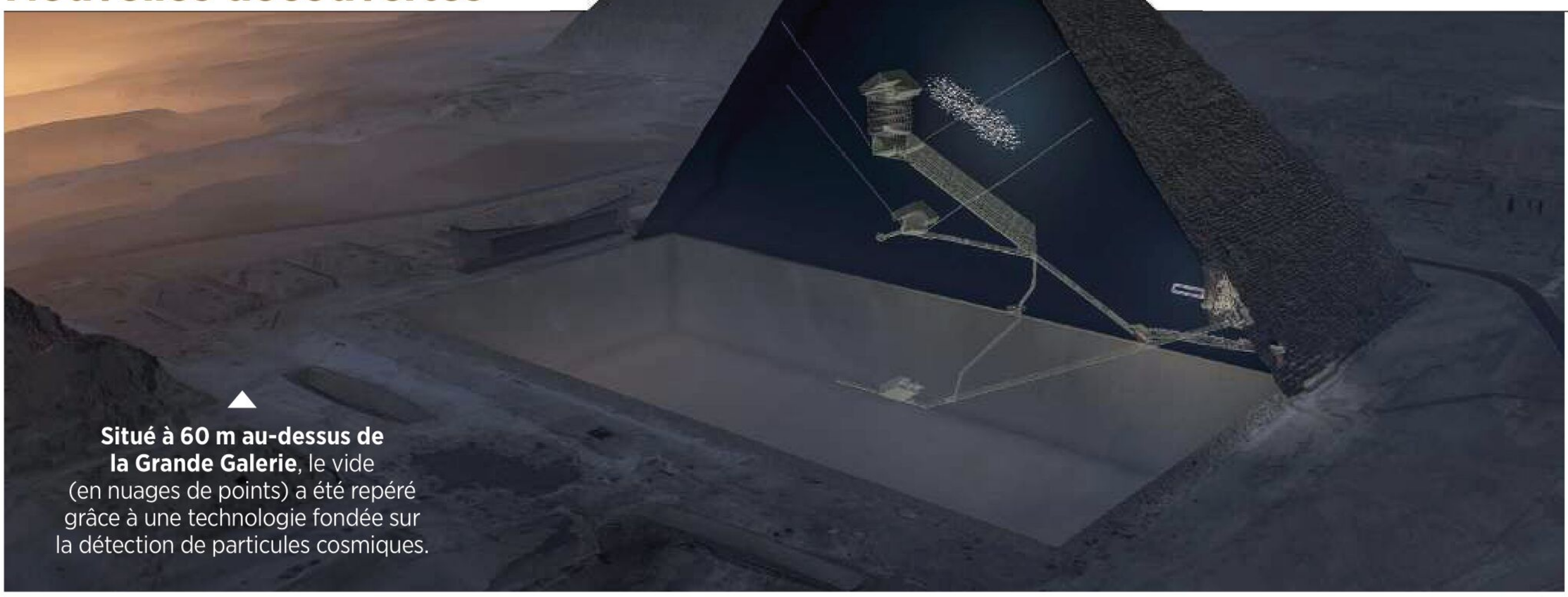


« Asteriornis maastrichtensis » vivait il y a 66,7 millions d'années (en haut, son crâne de 4,5 cm découvert aux Pays-Bas).

FLORENCE GENDRE - UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Voici le premier oiseau moderne

Il picorait tout ce qui lui tombait sous le bec il y a 66,7 millions d'années, soit 700 000 ans avant la chute de l'astéroïde qui a mis fin à l'ère des dinosaures non aviaires. *Asteriornis maastrichtensis alias* « Wonderchiken » est le premier oiseau pleinement moderne. Il a été mis au jour par une équipe internationale dans une carrière des Pays-Bas, l'une des meilleures preuves que l'Europe a été un lieu clé dans l'histoire de l'évolution des oiseaux modernes. Lui ou ses congénères ont survécu à la catastrophe, donnant naissance à une longue lignée de canards et de poulets, montre l'analyse de son crâne et de son bec. Sa petite taille, celle d'une caille, et son régime omnivore et opportuniste ont certainement été des atouts, selon ses découvreurs. **R. M.**



Situé à 60 m au-dessus de la Grande Galerie, le vide (en nuages de points) a été repéré grâce à une technologie fondée sur la détection de particules cosmiques.

SCANPYRAMIDS MISSION

La Grande Pyramide recèle une cavité mystérieuse

La nouvelle, révélée par *Sciences et Avenir* (n° 850), a fait le tour du monde en 2017 ! Une cavité insoupçonnée, aujourd'hui estimée à plus de 40 mètres de long (*Big Void*), a été détectée au cœur de la célèbre pyramide du pharaon Khéops (2589-2566 avant J.-C.), sur le plateau de Gizeh, en Égypte. Le monument vieux de 4200 ans décrit comme l'une des Sept Merveilles du monde réservait donc encore des surprises avec cet espace inconnu, situé à 60 mètres au-dessus de la Grande Galerie. Il a été détecté grâce à une nouvelle technologie faisant appel aux muons, des particules cosmiques dont la détection permet de caractériser la densité des matières traversées. Ce programme de recherche lancé par les équipes internationales de la société ScanPyramids est toujours en cours car l'énigme de cette mystérieuse cavité n'a pas encore été résolue : s'agit-il d'un simple couloir ou d'une chambre inconnue ? Cet espace pourrait-il contenir des objets ? C'est en effet toute la question. Rappelons que la momie de Khéops, souverain majeurde la IVe dynastie, n'a jamais été retrouvée. **B. A.**

MPK-WTAP

Les pierres taillées ont été mises au jour au Kenya.

Un outil fabriqué il y a 3,3 millions d'années

Homo n'est pas le premier des tailleurs de pierre. Des outils plus vieux que le genre humain lui-même ont été mis au jour en 2015 à Lomekwi (Kenya) par une équipe franco-américaine. Datés par paléo-magnétisme et téphrostratigraphie, les sédiments dans lesquels reposaient ces pierres façonnées ont révélé l'âge de 3,3 millions d'années. Soit 700 000 ans de plus que les outils de Gona (Éthiopie), les plus anciens connus jusqu'alors. **R. M.**

Un moine momifié dans une statue

La découverte a stupéfié ! En septembre 2014, lors d'un banal examen au scanner réalisé dans le cadre d'une opération de restauration à Rotterdam (Pays-Bas), une statue bouddhique du XIe-XIIe siècle s'est révélée contenir… les restes d'un moine momifié ! La dépouille, retrouvée à l'intérieur de cette œuvre chinoise d'époque Song (960-1127), est celle de Zhang Gong Liuqian, un célèbre maître bouddhiste, comme l'attestent des inscriptions dissimulées dans le socle. Ce rite insolite met en lumière une pratique spectaculaire d'automomification par le jeûne, suivie dans le plus grand secret par une poignée de religieux. B. A.

Le scanner d'une statue de Bouddha a révélé les restes d'un maître spirituel chinois.

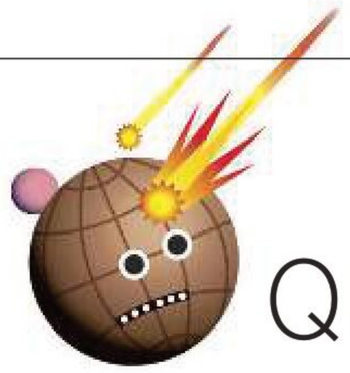
UNIVERSITÄTSKLINIK/REISS-ENGELHORN MUSEEN, MANNHEIM

Le guerrier viking était… une guerrière

Les mythes des Skajlmö, des amazones nordiques ont longtemps été rangés au rayon des légendes. Jusqu'en 2017 quand une découverte exceptionnelle a été effectuée par des chercheurs des universités d'Uppsala et de Stockholm (Suède). L'analyse ADN de la dépouille d'un « prestigieux guerrier », exhumé en 1880 avec son riche armement dans le cimetière de Birka, est apparue être celui… d'une valeureuse combattante ! **B. A.**

HISTORY CHANNEL

Femme combattante dans la série télévisée « Viking ».



QUIZ **HISTOIRE**

ILLUSTRATIONS : ROCCO POUR SCIENCES ET AVENIR

1 Quel âge a le plus ancien papyrus du monde :
A ☐ 7400 ans
B ☐ 2800 ans
C ☐ 4600 ans

2 Comment a-t-on identifié la « guerrière » viking de Birka :
A ☐ elle portait des bracelets
B ☐ par une analyse génétique
C ☐ par des mesures anthropométriques

3 De quel pharaon la Grande Pyramide de Gizeh porte-t-elle le nom :
A ☐ Toutankhamon
B ☐ Képhren
C ☐ Khéops

4 Qu'est-ce que le « disque de Nebra » :
A ☐ un plat de l'âge du bronze
B ☐ la plus vieille représentation de la voûte céleste
C ☐ un bouclier

5 Qu'est-ce que la muographie :
A ☐ une technique de détection faisant appel à des particules cosmiques
B ☐ une écriture secrète
C ☐ une discipline photographique

6 Comment appelle-t-on les dinosaures à bec de canard :
A ☐ les becosaures
B ☐ les coinplatosaures
C ☐ les hadrosaures

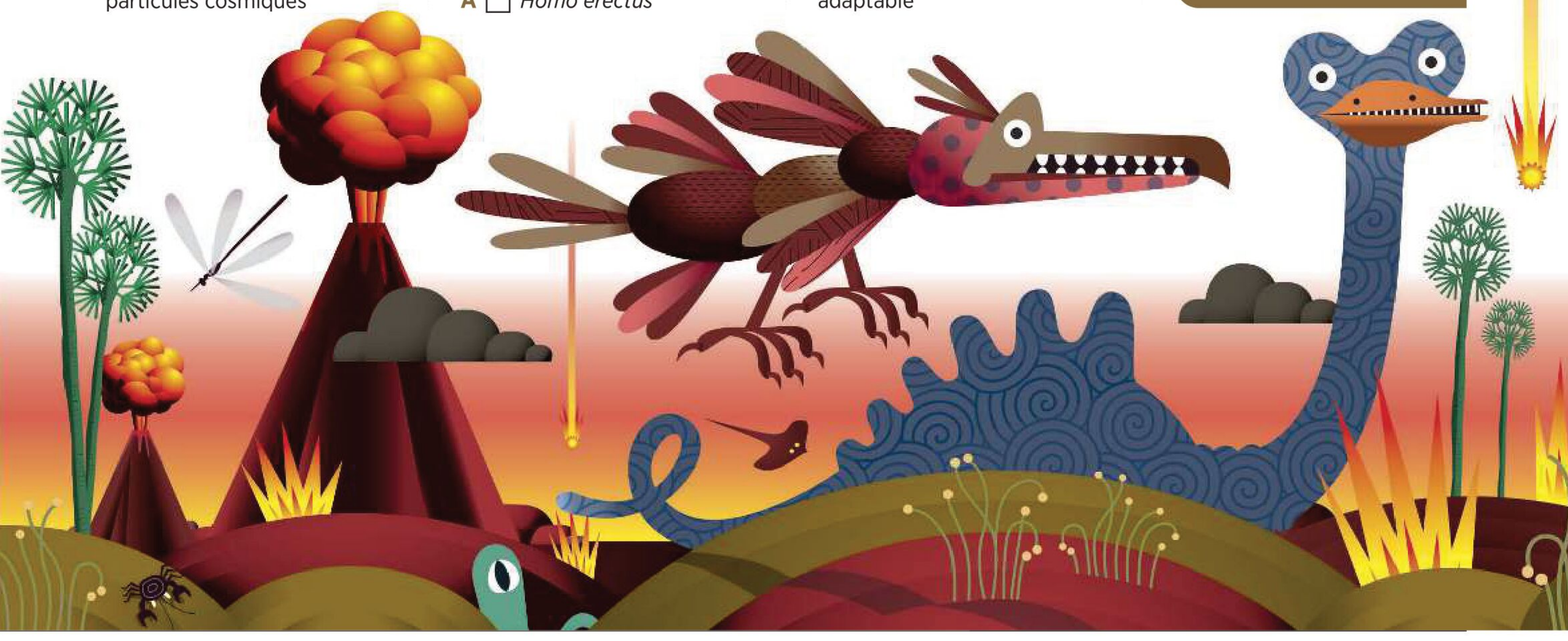
7 À quelle espèce appartiennent les restes du plus ancien humain trouvé en France :
A ☐ *Homo erectus*
B ☐ *Homo neanderthalensis*, l'homme de Neandertal
C ☐ *Homo sapiens*, *alias* Cro-Magnon

8 Qu'est-ce qui a permis aux premiers oiseaux modernes de survivre à la chute d'un astéroïde, il y a 65 millions d'années : (plusieurs réponses)
A ☐ leur bec hyperspécialisé
B ☐ leur petite taille
C ☐ leur régime omnivore adaptable
D ☐ leurs longues pattes permettant de courir vite
E ☐ leurs plumes de camouflage
F ☐ la disparition d'une grande partie de leurs prédateurs

9 Où a-t-on trouvé le plus vieil outil fabriqué au monde :
A ☐ à Gona, en Éthiopie, auprès d'un *Homo habilis*
B ☐ à Lomekwi, au Kenya, dans une zone à australopithèques
C ☐ au Tchad, dans le désert de Djourab, aux côtés de Toumaï

10 Quels sont les premiers hominidés sortis d'Afrique à avoir posé le pied en Chine :
A ☐ les australopithèques, il y a 3 millions d'années
B ☐ les *Homo erectus*, il y a 2,1 millions d'années
C ☐ les *Homo sapiens*, dès -300 000 ans.

Solutions
1 C - **2** B - **3** C - **4** B - **5** A
6 C - **7** B - **8** B, C, F - **9** B
10 B



NATURE

La science explore l'« intelligence » des arbres

De récentes études révèlent l'étendue des mécanismes qui régissent le fonctionnement intime des végétaux qui savent aussi bien communiquer que se préserver les uns les autres. Un monde aussi fascinant qu'insoupçonné s'ouvre à la recherche.

UN FAMILIER MÉCONNU et brutalisé. Tel est l'arbre dont l'humain, qui exploite outrancièrement les forêts, commence à peine à comprendre l'importance vitale. Deux études récentes ont marqué ce début de prise de conscience du capital à préserver : celle de l'université Yale (États-Unis) en 2015, recensant pour la première fois 3000 milliards d'arbres sur Terre, soit 422 pour chaque être humain. Or ils étaient deux fois plus nombreux au début de l'agriculture, il y a 10 000 ans, au vu des études archéologiques. Puis celle du Botanic Gardens Conservation International (BGCI) en 2017, isolant 60 065 espèces différentes dont 9600 au moins sont menacées d'extinction. Ces données sont devenues cruciales. Dès le début des négociations sur la convention sur le climat en 1995, les experts avaient mis en avant le rôle de puits de carbone joué par les forêts, calculant même qu'un mètre cube de bois stocke 800 kg de CO_2. Depuis, les calculs ne cessent de s'affiner pour chiffrer précisément la quantité de carbone émise par les humains absorbée par les forêts. L'imagerie satellitaire, grâce notamment au programme européen Copernicus lancé en 2014 avec la mise sur orbite du premier satellite Sentinel (ils seront 30 en 2030), donne aujourd'hui une image fine des avancées et retraits de cet écosystème. La végétation en général — et la forêt en particulier — absorbe 11,5 milliards de tonnes de CO_2 par an, soit 20 % des émissions

FRABRICE MILOCHAU/NATURAGENCY

humaines. Elle a jusqu'ici, avec l'aide des océans, limité les teneurs en gaz à effet de serre, contribuant à contenir la hausse des températures qui sera supérieure à 4 °C en 2100, selon les scénarios les plus pessimistes du Giec, le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

C'est une raison supplémentaire pour se pencher sur le fonctionnement intime de ces organismes qui ont suivi des voies radicalement différentes des animaux pour s'adapter aux conditions de vie. Si la ligno-cellulose qui les compose est bien connue depuis le XVIIIe siècle, si la circulation de l'eau et de la sève ainsi que la photosynthèse ont été décrites au XIXe siècle, le XXIe siècle est en train d'explorer leur « intelligence ». En 2013, le laboratoire Physique et physiologie intégratives de l'arbre en environnement fluctuant (Piaf, Clermont-Ferrand) a ainsi démontré que les cellules végétales étaient douées de proprioception : elles perçoivent leur déformation et la corrigent si nécessaire. L'arbre possède ainsi une sorte de « conscience » de soi. Ces dix der-

Il est désormais avéré que les arbres possèdent les mêmes molécules que celles servant de neurotransmetteurs chez les animaux

nières années, de nombreuses recherches ont été consacrées à la « neurobiologie végétale ». Des signaux électriques ont été détectés que les chercheurs ont encore du mal à caractériser, ainsi que des échanges chimiques. Il est désormais avéré que les arbres possèdent les mêmes molécules que celles servant de neurotransmetteurs chez les animaux (dopamine, adrénaline, mélatonine) sans que l'on sache à quoi elles leur servent.

Même la forêt n'est plus vue comme une accumulation d'arbres. En 2019, une équipe néo-zélandaise a montré comment ceux-ci maintenaient collectivement en vie des souches pour s'en servir comme réserve d'eau et de minéraux. Une forêt formerait-elle une seule entité, un *wood wild web* (Internet des bois) comme s'amusent à le dire certains scientifiques ? Une telle découverte serait l'occasion de reconsidérer cet immense écosystème. Jusqu'ici l'humain y a vu une immense réserve de richesses à exploiter : bois, fruits, viande, molécules pharmaceutiques. Mais elle pourrait être bien plus que cela. Sans les forêts, la Terre serait inhabitable. Les respecter, c'est se préserver. ■

Loïc Chauveau

NHK/NEP/DISCOVERY CHANNEL/AP/SIPA

Le céphalopode a été observé à 900 m de profondeur au large de l'archipel d'Ogasawara (Japon), le 10 juillet 2012.

Ce calmar géant a été filmé pour la première fois

Le calmar géant est un animal de légende dont l'existence n'était prouvée que par quelques spécimens échoués. La persévérance du zoologue japonais Tsunemi Kubodera a permis d'en filmer un dans son milieu naturel. Avec un autre scientifique japonais, Kyoichi Mori, il a d'abord suivi des cachalots, leur prédateur naturel, observant que leur ballet de chasse s'étendait entre -800 et -1000 mètres. Des lignes de pêche d'un kilomètre de long équipées d'appareils photo associés à des appâts ont permis d'obtenir les premières images d'un calmar géant à -900 mètres, au large de l'archipel d'Ogasawara. Le 10 juillet 2012, Tsunemi Kubodera a magnifié l'exploit en accompagnant, à bord d'un submersible, un autre individu entre -630 et -900 mètres, première rencontre d'un humain avec l'animal mythique. S. R.

ARMOR

Les panneaux solaires en pleine révolution

CHRISTOPH GERIGK/BIOSPHOTO

Le plancton, star des océans

De 2009 à 2012, la goélette scientifique *Tara* a réalisé une récolte d'échantillons de plancton dans toutes les mers du monde, qui ont notamment servi au plus grand travail de séquençage jamais effectué pour des organismes marins. Le catalogue réalisé rassemble 40 millions de gènes de plus de 35 000 espèces de bactéries différentes, pour la plupart inconnues. La mission Tara Océans a aussi permis de montrer un déclin de la diversité des groupes planctoniques vers les pôles, en raison de la hausse des températures océaniques. S. R.

Fini le bon vieux silicium ? Depuis vingt ans, l'industrie du solaire vit une révolution, de très nombreuses solutions innovantes entrant en concurrence avec les « traditionnels » panneaux photovoltaïques reposant sur le silicium polycristallin dont les 20 % de rendement maximum ne peuvent être améliorés. Ainsi, développée par le CEA (Saclay, Essonne) depuis 2005, la technologie en « hétérojonction », qui marie silicium amorphe et monocristallin, a signé une première évolution majeure permettant d'espérer atteindre les 30 % à la fin de la décennie. Depuis, une rupture s'est produite avec la mise au point de cellules à base de polymères organiques. Les sociétés française Armor et allemande Heliatek ont déposé des brevets en 2016 et basculé vers la production industrielle de cellules souples. Leur rendement (autour de 12 % avec des records en laboratoire à 25 %) est certes inférieur, mais elles s'adaptent aussi bien aux bâtiments qu'aux voitures ou au mobilier urbain.

L'Institut photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF) table, lui, sur la pérovskite, un matériau conducteur dont les rendements ne cessent de s'améliorer et qui sera associé en « tandem » avec du silicium. L'objectif : rapatrier en Europe une production industrielle essentiellement chinoise avec des panneaux affichant 30 % de rendement d'ici à 2030. **L. C.**

Les cellules souples permettent d'adapter au mieux les panneaux solaires aux bâtiments ou au mobilier urbain.

PAUL HARRISON.

La région de Pibara (Australie), lieu de la découverte.

La plus ancienne trace de vie a au moins 3,5 milliards d'années

Des fossiles vieux d'au moins 3,5 milliards d'années découverts sur le site d'Apex Chert (Australie) constitueraient l'empreinte des plus anciens micro-organismes connus, selon une équipe américaine. Une nouvelle technologie de spectrométrie de masse a repéré les signatures chimiques de 11 spécimens microbiens, appartenant à cinq espèces dont certaines similaires à celles existant aujourd'hui. **R. M.**

Néonicotinoïdes, des tueurs d'abeilles

Des scientifiques français et britanniques ont démontré en 2012 que des néonicotinoïdes comme le Gaucho et le Cruiser ont des effets délétères à faibles doses sur les abeilles domestiques et les bourdons sauvages. Ces insecticides introduits dans les années 1990, agissant sur le système nerveux des insectes, sont les plus employés au monde sur les cultures.
Ils sont en cours partiel d'interdiction en France et en Europe. Autre sujet d'inquiétude : l'effet cocktail des molécules utilisées auxquelles les butineuses sont exposées R. M.

PAUL-ANDRÉ COUMES/BIOSPHOTO

Les vertus redécouvertes de l'agro-écologie

Haro sur les pesticides, vive les engrais organiques ! L'agro-écologie est désormais plébiscitée tant au niveau français qu'européen où elle représente aujourd'hui 7 % de la surface agricole utile. Un taux qui est estimé à 25 % pour 2030. Cette agronomie qui redécouvre les bases de la polyculture-élevage d'avant la Seconde Guerre mondiale, gagne la faveur des scientifiques depuis le début du XXIe siècle. Selon leurs calculs, si les rendements sont plus faibles de 20 à 30 % selon les végétaux, les économies en énergie la rendent compétitive pour les agriculteurs et bénéfique pour l'environnement. Sans pour autant menacer le monde de pénurie alimentaire. L'actuel système industriel produit en effet 30 % d'excédents qui partent à la poubelle. **L. C.**

THOMAS LOUAPRE/DIVERGENCE

L'exploration hors du commun des abysses

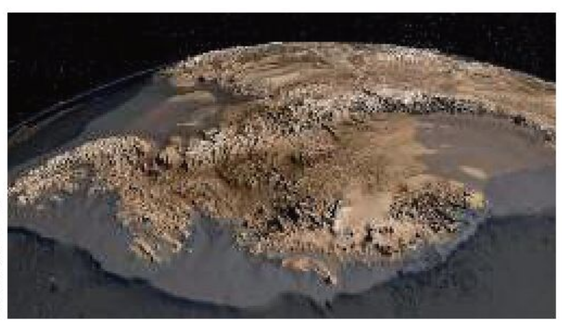
Une moisson de découvertes : la mission Five Deeps Expedition, menée par l'Américain Victor Vescovo, a permis de visiter chacun des points les plus profonds des cinq océans du monde à bord de son submersible à coque de titane. Du 21 décembre 2018 au 24 août 2019, il est devenu le premier homme à avoir plongé seul dans la fosse atlantique de Porto Rico, à -8376 m, dans la partie australe de la fosse des Sandwich du Sud à -7434 m, dans la fosse de Java à -7192 m, désormais connue comme le point le plus profond de l'océan Indien et le Molloy Deep, à -5550 m en Arctique. Ce dernier n'avait encore jamais été visité. Plusieurs nouvelles espèces ont été découvertes. Victor Vescovo et ses collaborateurs ont également exploré à plusieurs reprises la fosse des Mariannes dans le Pacifique, établissant un nouveau record de plongée à -10 928 m dans le Challenger Deep, le point le plus profond de la planète. Ils y ont constaté l'existence de nappes bactériennes colorées, dévoilant l'existence de formes de vie se développant sans photosynthèse. S. R.

Le « Triton 36 000/2 » champion absolu des profondeurs.

ATLANTIC PRODUCTIONS/CREDIT TAMARA STUBBS

La cartographie de l'Antarctique sous la glace

L'Antarctique est recouvert à 98 % par une calotte glaciaire de plusieurs kilomètres d'épaisseur. Son plateau rocheux n'a longtemps été connu que par des sondages par radar aéroporté parcellaires. Le projet BedMachine mené par une équipe internationale a corrélé près d'un million de ces sondages réalisés depuis 1967 avec notamment les mesures d'épaisseur de la glace de la Nasa enregistrées de 2009 à 2018, pour réaliser la carte la plus précise jamais produite des reliefs rocheux invisibles de l'Antarctique *(image ci-dessous)*. Ils ont ainsi découvert le canyon continental le plus profond du monde : plus de 3500 m sous le niveau de la mer. **S. R.**



NASA/GSFC

La plate-forme Ideol en test au large de Saint-Nazaire (Loire-Atlantique).

JONCHERAY/ANDIA.FR

L'éolien flottant émerge

C'est l'innovation de cette fin de décennie : l'éolien flottant entreprend une percée. À 22 kilomètres au large de Saint-Nazaire, la plate-forme Ideol de 2 mégawatts (MW) est en test depuis 2017. À 18 km de Gruissan (Aude), les quatre éoliennes du projet Eolmed sont en cours d'installation pour une mise en service prévue en 2021. Elles fourniront de l'électricité à 50 000 habitants. Trois éoliennes de 8 MW sont également en projet à 17 km de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Au large de Groix et Belle-Île en Bretagne, le consortium Eolfi développe un parc de six éoliennes de 6 MW. L'éolien flottant n'affecte pas les paysages côtiers et bénéficie de vents du large plus réguliers. Le potentiel total est estimé en France à 6 GW, soit l'équivalent de cinq tranches nucléaires. L. C.

Les promesses de la photosynthèse artificielle

Un procédé chimique qui imite la photosynthèse naturelle des plantes ? Des équipes de chercheurs s'y essaient depuis une bonne décennie. Des Américains et Britanniques travaillent à convertir du dioxyde de carbone (CO_2) en éthylène, en éthanol ou en propanol, à partir de lumière solaire mais surtout de catalyseurs permettant de gagner en efficacité énergétique. Le CEA (Saclay, Essonne), lui, vient d'annoncer qu'il mettait au point une photo-électrode durable pour la production d'hydrogène : une architecture hybride, basée sur un semi-conducteur en interface avec un catalyseur moléculaire. L'ensemble ne renferme que des éléments retrouvés en quantité abondante dans la croûte terrestre. **R. M.**

QUIZ NATURE

1 Combien y a-t-il aujourd'hui d'espèces d'arbres sur Terre :

A ☐ 20 000
B ☐ 65 000
C ☐ 90 000

2 Les arbres d'une forêt maintiennent collectivement en vie des souches pour s'en servir :

A ☐ de protection contre les incendies
B ☐ d'appât pour les parasites
C ☐ de réserve d'eau et de minéraux

3 Pour repérer des calmars géants dans leur milieu naturel, les chercheurs ont suivi :

A ☐ un banc d'anchois, leur principale nourriture
B ☐ des cachalots, leur prédateur naturel
C ☐ des orques, leurs alliés pour la chasse

ILLUSTRATIONS : ROCCO POUR SCIENCES ET AVENIR

4 Quelle est la part de la production agricole mondiale qui n'est pas consommée par les humains et donc gaspillée ?

A ☐ 10 %
B ☐ 30 %
C ☐ 50 %

5 Dans quel pays ont été découvertes les plus anciennes traces de vie au monde :

A ☐ le Canada
B ☐ l'Australie
C ☐ l'Éthiopie

6 Les néonicotinoïdes comme le Gaucho et le Cruiser ont des effets délétères à faibles doses sur :

A ☐ les abeilles domestiques et les bourdons
B ☐ les abeilles sauvages et les papillons
C ☐ toutes les abeilles et les diptères

7 Victor Vescovo est le quatrième homme à avoir atteint le point plus profond de la planète, à -10 928 mètres. Il s'agit :

A ☐ du Marianne Deep
B ☐ du Molloy Deep
C ☐ du Challenger Deep

8 La cartographie des reliefs de l'Antarctique sous la glace a permis de découvrir, à 3500 mètres sous le niveau de la mer :

A ☐ le canyon continental le plus profond du monde
B ☐ le volcan actif le plus profond du monde
C ☐ le fleuve de glace le plus profond du monde

9 Quel est le potentiel de puissance de l'éolien flottant en France ?

A ☐ 1 gigawatt (GW)
B ☐ 3 GW
C ☐ 6 GW

10 Des chercheurs anglo-saxons cherchent à convertir du CO_2 en éthylène, éthanol ou propanol, à partir :

A ☐ d'eau de mer et des membranes d'osmose
B ☐ de plantes oléagineuses et de solvants organiques
C ☐ de lumière solaire et de catalyseurs

Solutions
1 B - 2 C - 3 B - 4 B - 5 B
6 A 7 C - 8 A - 9 C - 10 C

BIO/SANTÉ

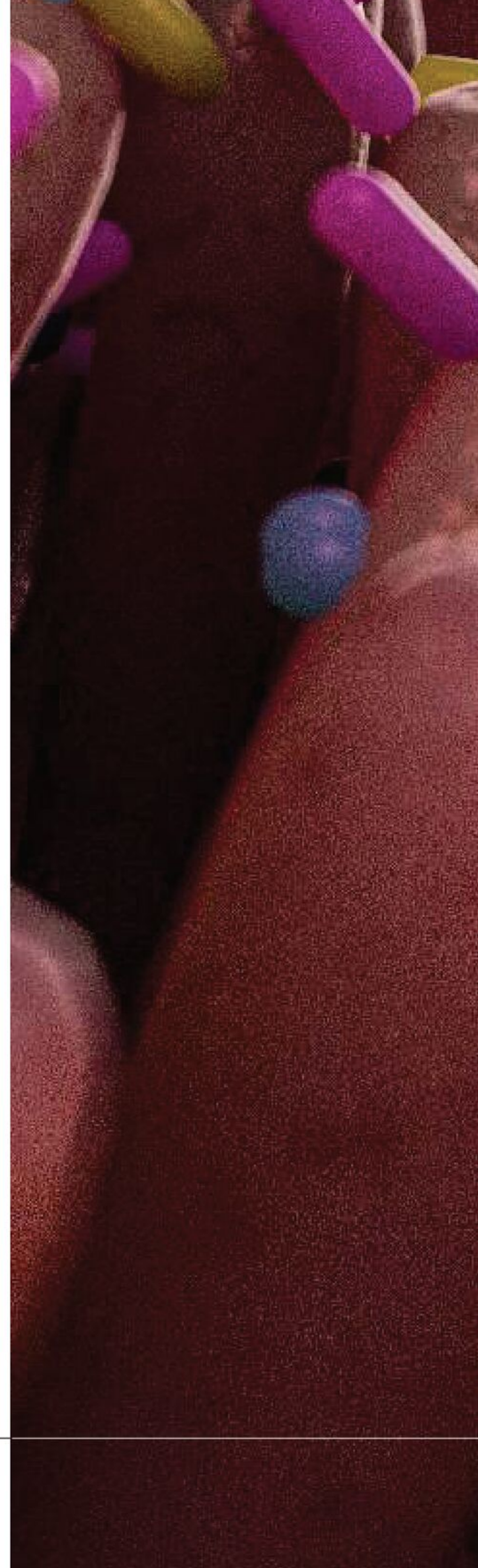
Microbiote : un monde insoupçonné

Cet ensemble de micro-organismes (bactéries, virus, parasites et champignons non pathogènes), autrefois appelé flore intestinale, pourrait soigner l'anxiété, la dépression, et d'autres maladies comme les infections graves de l'intestin ou des maladies du foie. Des essais thérapeutiques sont en cours.

UNE « TERRA INCOGNITA » au sein même de notre organisme a été découverte ces vingt dernières années : le microbiote ! Ce terme (ex-flore intestinale) désigne l'ensemble des micro-organismes (bactéries, virus, parasites et champignons non pathogènes) qui vivent en symbiose avec nous, notamment dans le tube digestif. Celui-ci en hébergerait à lui seul de mille milliards à cent mille milliards, soit de 2 à 10 fois plus que le nombre de cellules de notre corps, pour un poids de 2 kg chez un adulte de 70 kg ! « *À la naissance — hormis par césarienne —, le bébé reçoit des milliards de microbes vaginaux et intestinaux maternels, puis ceux présents dans l'environnement. Tous colonisent aussitôt son organisme*, indique Joël Doré, directeur scientifique du centre MetaGenoPolis de l'institut Micalis (Inrae, AgroParis Tech, université Paris-Saclay). *Il se développe alors différents microbiotes au niveau de la peau, de la sphère orale, des voies urogénitales et intestinales. Chaque humain leur offre le logement et la nourriture, en retour, ils produisent des nutriments utiles, stimulent notre système immunitaire et empêchent des agents pathogènes de s'installer.* » Tant et si bien qu'en 2020, les chercheurs estiment que chacun forme, avec ses bactéries, un « super-organisme ». « *L'humain, qui a coévolué avec ses microbes, est donc microbien* », assure Joël Doré.

L'idée d'un « deuxième cerveau » intestinal

Les études pionnières datent du début du XX^e^ siècle, lorsque le prix Nobel Élie Metchnikoff (1908) met en évidence les propriétés bénéfiques de certaines bactéries du yaourt ou du kéfir pour les intestins. Mais il a fallu attendre le XXI^e^ siècle et ses nouveaux moyens d'investigation pour révéler l'intimité du microbiote. Ainsi, le projet international MetaHit (Metagenomics of Human Intestinal Tract) lancé en 2008 par l'Institut national de la recherche agronomique (aujourd'hui Inrae), a abouti à la publication en 2010 du premier séquençage de l'ensemble des gènes des bactéries du tube digestif (métagénome). Les chercheurs ont montré qu'un millier d'espèces ont été répertoriées, chaque individu abritant au moins 170 d'entre elles. Autre surprise de taille en 2004 lorsque Nobuyuki Sudo, de l'université de Kyushu (Japon), démontre le lien ventre-cerveau : il observe en effet que des souris axéniques (sans microbiote) sont bien plus stressées que leurs congénères saines, et présentent un défaut de


SCIENCE PHOTO LIBRARY

INRAE

« Chaque humain offre à ces microbiotes le logement et la nourriture et, en retour, ils stimulent notre système immunitaire »

Joël Doré, directeur scientifique du centre MetaGenoPolis de l'institut Micalis (Inrae, AgroParis Tech, université Paris-Saclay).

Un millier d'espèces de bactéries du tube digestif ont été répertoriées. Chaque individu en abrite au moins 170 (illustration).

mémorisation et des anomalies du comportement social. Stupeur ! ces perturbations cessent lorsqu'un microbiote leur est implanté. L'idée d'un « deuxième cerveau » intestinal, communiquant avec le cerveau, fait son chemin. En 2011, Premysl Bercik, de l'université McMaster (Canada), enfonce le clou. Il transfère, par une transplantation fécale, le microbiote d'une souris non anxieuse chez une souris axénique (dépourvue de germes) anxieuse et constate chez cette dernière une réduction du trouble. La même année, John Cryan, de l'université de Cork (Irlande), parvient au même résultat en faisant consommer pendant vingt-huit jours une souche de bactérie lactique à une souris axénique anxieuse. En 2017 enfin, Premysl Bercik démontre que la consommation d'une souche bactérienne pendant six semaines réduit le niveau d'anxiété et de dépression... chez l'humain.

Des succès et de nouvelles études pilotes

La piste la plus prometteuse demeure cependant la lutte contre les infections intestinales graves, notamment celles à *Clostridium difficile*, grâce à la transplantation fécale. À ce jour, plusieurs centaines de ces opérations ont été réalisées en France, avec des taux de réussite de 90 à 95 %. D'autres affections — la maladie de Crohn, le syndrome de l'intestin irritable, des maladies du foie et la rectocolite hémorragique — font désormais l'objet d'études pilotes. Ces nouvelles connaissances sont explorées au sein du projet Homo symbiosus, lancé en 2019 avec un financement européen de 2,5 millions d'euros pour cinq ans. ■ **Elena Sender**

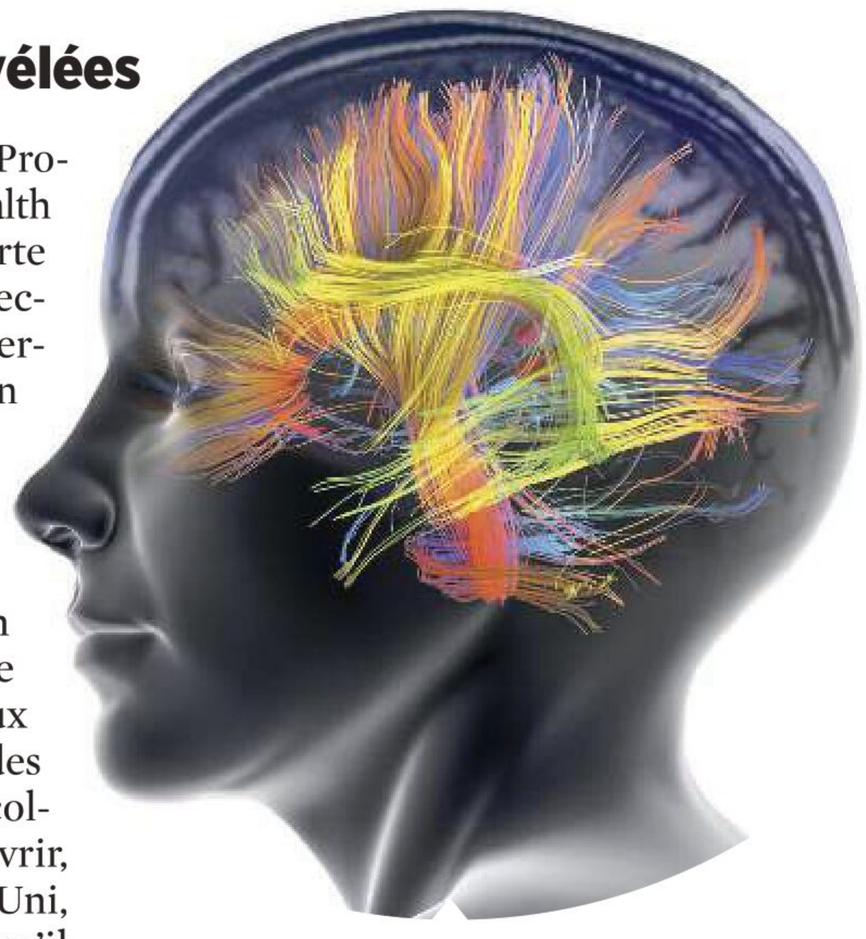
CRISPR-Cas9, l'outil de génie génétique par excellence

GREGOR FISCHER/DPA/AFP

Véritables ciseaux à ADN, CRISPR-Cas9 s'est imposé dans tous les laboratoires du monde.

Les connexions du cerveau révélées

En 2009, était lancé le Human Connectome Project (HCP), par les National Institutes of Health (NIH) américains. L'objectif est d'établir la carte complète des connexions du cerveau (le connectome) *in vivo*. Un défi quand on sait que le cerveau comprend 86 milliards de neurones, chacun relié à 10 000 autres par des axones qui constituent les faisceaux de fibre de la matière blanche. L'outil clé pour le relever ? La tractographie par IRM de diffusion. Cette dernière met en évidence la matière blanche en mesurant la diffusion des molécules d'eau le long des axones. Puis, les trajets des faisceaux de fibres sont reconstitués virtuellement par des algorithmes de tractographie. Les données collectées par le HCP ont déjà permis de découvrir, par exemple (université d'Oxford, Royaume-Uni, 2015), sur 461 volontaires en bonne santé, qu'il existe un lien entre la connectivité du cerveau et les traits comportementaux. **E. S.**



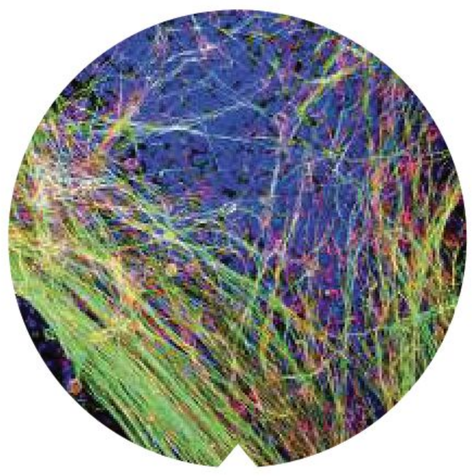
PASIEKA/SPL/PHANIE

L'IRM de diffusion a montré le trajet des milliards d'axones qui relient les neurones cérébraux.

Il existe un avant et un après CRISPR. Un avant, où modifier un seul gène s'apparentait à un parcours du combattant et nécessitait plusieurs mois de dur labeur. Un après, où l'édition génétique est devenue une technique rapide, efficace et peu onéreuse grâce à cet outil moléculaire d'origine bactérienne. C'est en 2012 que la Française Emmanuelle Charpentier et l'Américaine Jennifer Doudna inventent la technique CRISPR-Cas9. Ces « ciseaux à ADN » tiennent lieu de système immunitaire aux bactéries et leur permettent d'éviter l'infection par des pathogènes. Détourné de sa fonction première, CRISPR-Cas9 permet de couper, raboter, éditer un gène avec une extrême facilité. Il s'impose vite dans les laboratoires de biologie du monde entier. Encore cantonnée aux recherches, et amélioré d'année en année, la technique devrait sous peu entrer en médecine humaine, notamment afin de tenter de soigner la mucoviscidose. **H. R.**

Les cellules rajeunissent

En modifiant génétiquement des cellules adultes, le Japonais Shinya Yamanaka est parvenu à obtenir des cellules souches dites pluripotentes induites (iPS). C'est-à-dire qu'elles reviennent à un état juvénile qui permet de les reprogrammer pour qu'elles se différencient en n'importe quel type cellulaire spécialisé (cœur, peau…). Une *« machine à remonter le temps pour nos cellules »* selon les mots de Shinya Yamanaka, récompensé par le prix Nobel de médecine en 2012. En septembre 2019, une équipe japonaise utilise pour la première fois des iPS pour reconstituer une cornée et la transplanter à une patiente autrement condamnée à devenir aveugle. H. J.



GAILLARD, AFSANEH/INSERM

Les cellules iPS sont obtenues à partir de cellules adultes.

L'immunothérapie donne de l'espoir

Soigner des patients atteints de cancer de tout type en activant leur système immunitaire pour que celui-ci détruise la tumeur. Tel est l'objectif d'une approche thérapeutique innovante, l'immunothérapie. Deux grandes classes de molécules sont disponibles. Les premières sont des anticorps monoclonaux qui inhibent les stratégies mises en place par la tumeur pour rendre inactives les cellules immunitaires : une découverte couronnée par un prix Nobel de médecine en octobre 2018. La seconde repose sur les cellules dites CAR-T cells (Chimeric Antigen Receptor-T), qui stimulent le système immunitaire du patient en donnant à son organisme l'information dont il a besoin pour mieux reconnaître les cellules cancéreuses et les attaquer. **S. R.-M.**

Le génome humain a été séquencé

Après quinze ans de travail, l'achèvement du projet international Génome Humain est annoncé en 2003. Achevé ? Pas tout à fait. Une grande portion — plus de 80 %! — de l'ADN humain reste encore inconnue. Il s'agit de l'ADN naguère dit poubelle ou désormais non codant. Lancé à la suite du précédent, le projet Encode démontre au fil des ans que l'ADN non codant permet de moduler l'expression des gènes, d'en être, en quelque sorte, le contrôleur. **H. R.**

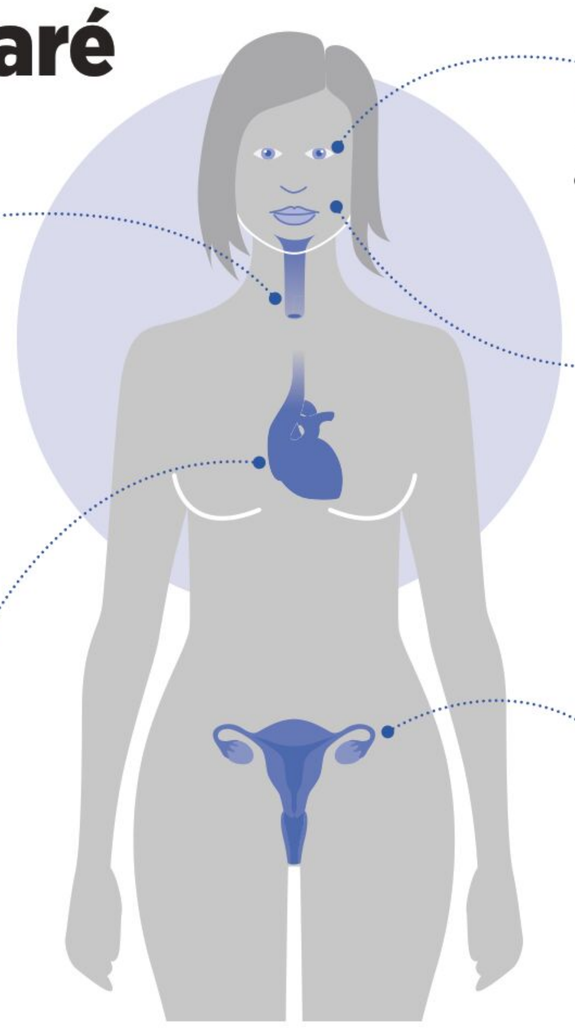
ROBERT BROOK/SCIENCE PHOTO LIBRARY

Environ 20 000 gènes composent l'ADN codant chez l'humain.

Un bébé est né doté de l'ADN de trois parents

C'est une technique de procréation médicalement assistée (PMA) particulière, utilisée pour la première fois en 2016 pour éviter une grave maladie génétique à l'enfant à naître. En fait, l'ovocyte maternel contient deux types d'ADN, celui du noyau et celui des mitochondries, les centrales à énergie des cellules. Or, cet ADN mitochondrial est parfois porteur de graves mutations chez une personne sur 5000. Si cette anomalie est identifiée chez une future mère, il est désormais possible de se débarrasser de cet ADN muté en utilisant un ovocyte sain d'une donneuse. Reste à féconder ce nouvel ovocyte *in vitro* par un spermatozoïde paternel. Pour l'heure, cinq bébés ont ainsi vu le jour. S. R.-M.

L'humain réparé



BRUNO BOURGEOIS

LARYNX EN TITANE
Deux premières mondiales française : la pose d'un larynx artificiel en titane en 2012 puis la reconstruction d'une trachée fonctionnelle en 2018 à partir d'un procédé d'ingénierie cellulaire. Deux opérations délicates pour combattre des cancers de la gorge très évolués.

CŒUR ARTIFICIEL
La prothèse biocompatible Carmat, mise au point par le Pr Alain Carpentier en 2013, s'adapte aux besoins des patients. Le temps record de survie est pour l'heure de 20 mois.

RÉTINE ÉLECTRONIQUE
Des électrodes fixées sur une rétine malade se substituent aux cellules affectées. Depuis 2011, quelques centaines de patients en bénéficient.

GREFFE DE VISAGE
La première greffe de visage partielle au monde a été réalisée en France par le Pr Bernard Devauchelle, en 2005. Plus de 40 autres, partielles ou totales, ont depuis été effectuées.

GREFFE D'UTÉRUS
En Suède, en 2014, a eu lieu la première naissance après une greffe d'utérus, issu d'un don entre mère et fille. La première greffe d'utérus en France a été réalisée en 2019. **S. R.-M.**

Stimulé électriquement, ce patient paraplégique a pu remarcher au Centre hospitalier universitaire de Lausanne (Suisse).

DAVID WAGNIÈRES

Des essais innovants pour remarcher

Le XXIe siècle a ouvert la voie au traitement de la paraplégie (paralysie des membres inférieurs), ce qui constitue un immense espoir pour des centaines de milliers de patients dans le monde. Depuis 2018, neuf personnes paraplégiques ont retrouvé ainsi l'usage de leurs membres paralysés, grâce au protocole Stimo (*Stimulation Movement Overground*). Cette méthode de stimulation électrique spatio-temporelle de la moelle épinière (tube nerveux qui prolonge le cerveau et distribue les nerfs dans tout le corps) est associée à une rééducation intensive. Elle a été mise au point par l'équipe de Grégoire Courtine, chef d'unité au Centre de neuroprothèses de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et la neurochirurgienne Jocelyne Bloch, du Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV). En 2012, l'équipe appliquait avec succès la méthode à des souris paralysées. Puis en 2016, c'était au tour de singes de remarcher grâce à cette technique. **E. S.**

Le cannabis médical enfin testé

Pour tous ceux qui ne voient plus d'issue à leurs douleurs, émergera peut-être une solution. Après des années d'attente, la France a lancé une expérimentation portant sur le cannabis médical en 2020. Trois mille patients vont être suivis durant six mois pour une dizaine d'indications, essentiellement des douleurs neuropathiques. Si cet essai se révèle positif, la plante entrera dans la pharmacopée officielle française comme elle l'est déjà dans 17 pays de l'Union européenne. **H. R.**

AMIR COHEN/REUTERS

Un essai portant sur le cannabis thérapeutique vient d'être lancé en France.

La vaccination anti-papillomavirus lancée

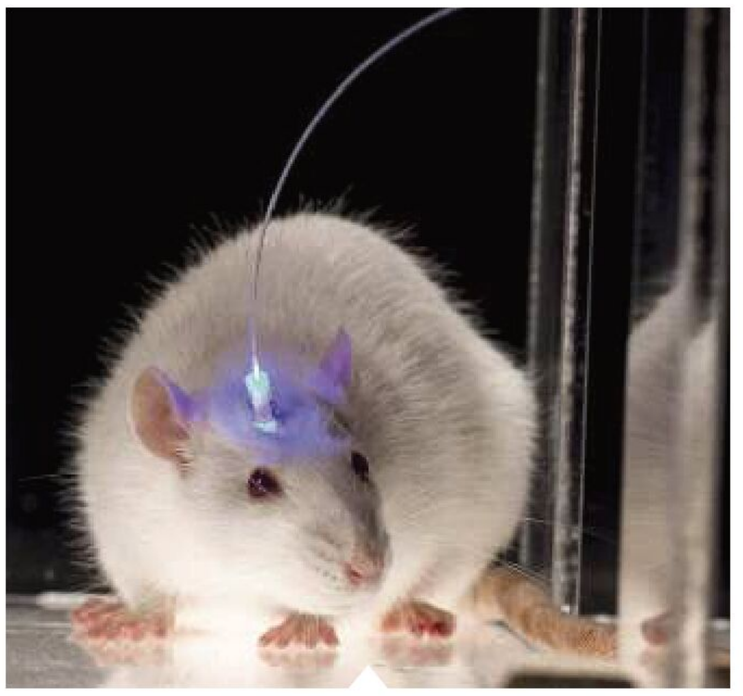
VOISIN/PHANIE

Seules 25 % des jeunes Françaises âgées de 16 ans sont vaccinées.

Environ 6000 cancers (utérus, vagin, anus, ORL, pharynx) en lien avec la centaine de papillomavirus connus se déclarent chaque année en France. Depuis le premier vaccin (Gardasil) sorti en 2006, un autre, Cervarix, a été mis au point pour empêcher l'apparition des lésions précancéreuses qu'ils provoquent. La vaccination concerne tous les préadolescents, filles et garçons, entre 11 et 14 ans. Mais plus de dix ans après les recommandations d'abord émises uniquement à destination des filles, seules 25 % des jeunes Françaises âgées de 16 ans ont reçu la totalité des injections. Un chiffre bien inférieur à l'objectif de 60 % fixé dans le cadre du Plan cancer. Il est de 86 % au Royaume-Uni. **S. R.-M.**

La lumière a pris le contrôle des neurones

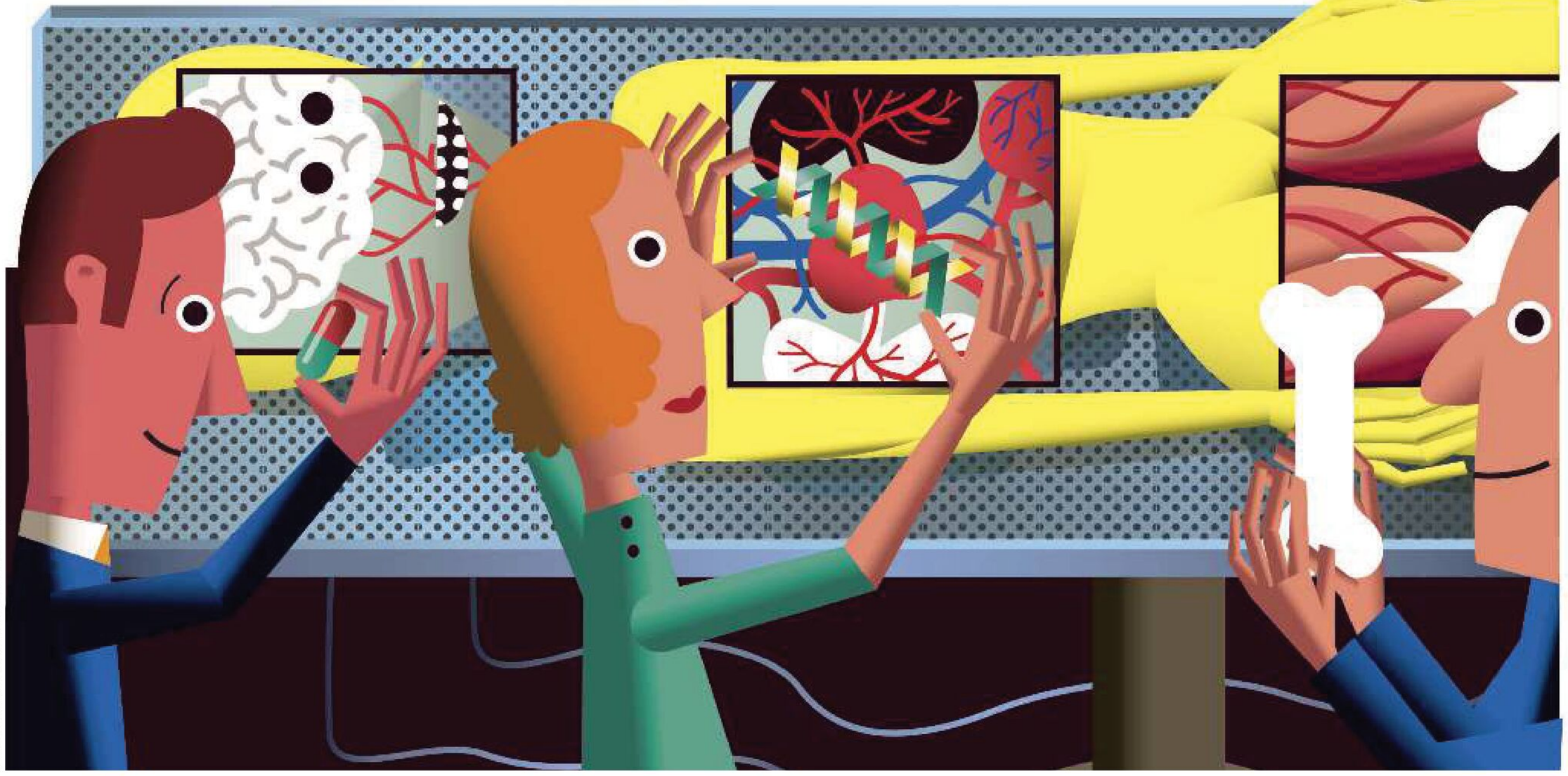
Et s'il était possible de contrôler un animal à l'aide d'un signal lumineux ? C'est en 2005 que deux chercheurs de l'université de Stanford (États-Unis) parviennent à diriger ainsi, *via* ses neurones, les mouvements d'une mouche. Depuis, la méthode, appelée optogénétique, s'est étendue à tous les types cellulaires afin de les étudier plus facilement. H. R.



JOHN B. CARNETT/POPULAR SCIENCE VIA GETTY IMAGES

Une souris atteinte de la maladie de Parkinson traitée avec un laser capable d'arrêter les tremblements (Stanford, Californie).

QUIZ **BIO & SANTÉ**



ILLUSTRATIONS : ROCCO POUR SCIENCES ET AVENIR

1 **Plus de dix ans après les recommandations de vaccination contre le papillomavirus, quel est le pourcentage d'adolescentes françaises vaccinées :**

A ☐ 15 %
B ☐ 25 %
C ☐ 50 %

2 **En quelle année a été décerné le prix Nobel récompensant les travaux à l'origine des médicaments d'immunothérapie :**

A ☐ 2001
B ☐ 2008
C ☐ 2018

3 **Laquelle de ces affirmations d'ordre étymologique sur le cannabis est vraie :**

A ☐ le mot « satisfaction » provient de *sativa*, la variété la plus répandue de cannabis
B ☐ « haschich » a donné « assassin »
C ☐ « haschich » a dérivé vers le mot « hachis »

4 **Quel pourcentage du génome est codant (traduit en protéines) :**

A ☐ 3 %
B ☐ 17 %
C ☐ 48 %

5 **Quand les découvreurs de la technique d'édition du génome CRISPR-Cas9 ont-ils obtenu le prix Nobel :**

A ☐ 2017
B ☐ 2019
C ☐ jamais

6 **Chez un adulte de 70 kg, le microbiote intestinal pèse :**

A ☐ 500 grammes
B ☐ 10 grammes
C ☐ 2 kilogrammes

7 **Comment s'appelle la structure qui prolonge le cerveau et distribue les nerfs dans tout le corps :**

A ☐ la moelle osseuse
B ☐ la moelle épinière
C ☐ le système nerveux périphérique

8 **La tractographie est une technique d'imagerie :**

A ☐ des fibres musculaires
B ☐ des fibres nerveuses
C ☐ des fibres alimentaires

9 **La première application clinique de la technique des cellules souches pluripotentes induites (IPS) a permis de réparer :**

A ☐ un cœur
B ☐ des yeux
C ☐ la peau

10 **La méthode qui consiste à activer certains neurones par des impulsions lumineuses s'appelle :**

A ☐ le flash cérébral
B ☐ la luminothérapie
C ☐ l'optogénétique électronique

Solutions
1 B - **2** C - **3** B - **4** A - **5** C
6 C - **7** B - **8** B - **9** B - **10** C

HIGH-TECH

Intelligence artificielle, le grand bond en avant

L'accroissement des capacités de calcul et les millions de contenus sur Internet ont permis à l'apprentissage automatique et aux autres méthodes de s'imposer dans tous les secteurs. Au point de poser aujourd'hui des questions éthiques.

Quand, le 27 mars 2019, le Français Yann LeCun, directeur du laboratoire de recherche en intelligence artificielle de Facebook, le Britannique Geoffrey Hinton, de l'université de Toronto (Canada) et chercheur chez Google, et le Canadien Yoshua Bengio, de l'université de Montréal, reçoivent le prix Turing, la consécration semble aussi méritée que logique. Ce prix annuel prestigieux qui récompense des travaux de recherche en informatique est en effet décerné à trois pionniers des réseaux de neurones artificiels, une méthode d'apprentissage automatique plus connue sous le vocable de *deep learning*. Elle est si efficace qu'elle est presque devenue synonyme d'intelligence artificielle. En peu de temps, tout le monde s'y est mis, Google, Facebook, IBM, le fabricant américain de processeurs graphiques Nvidia mais aussi le géant du e-commerce Amazon ou le moteur de recherche chinois Baidu. La reconnaissance d'images, la traduction ou l'analyse de langage naturel ont fait des progrès fulgurants grâce à cette méthode. De même que les projets de voiture autonome ou la création artistique. Pourtant, moins de dix ans auparavant, ces recherches étaient encore loin de convaincre la communauté scientifique.

Depuis plus de soixante ans, l'intelligence artificielle (IA) n'a cessé de nourrir espoirs, fantasmes… et déceptions, engendrant des « hivers de l'IA » (gel de projets et de financements). La discipline, née pour un atelier de recherche de l'été 1956 au Dartmouth College, une université privée du New Hampshire (États-Unis), avait fini par être reléguée au rang de lubie de science-fiction. Les chercheurs du domaine interrogés dans *Sciences et Avenir* ces dernières années (Jean-Gabriel Ganascia, Yann LeCun, Antoine Bordes, Luc Julia…) ont souvent raconté avoir dû, au cours de leur parcours académique, se faire discrets sur leurs travaux pour rester crédibles. *« L'IA a été très à la mode dans les années 1980, puis est tombée en désuétude et il valait mieux ne pas en parler*, s'est souvenu François Pachet, directeur du Creator Technology Research Lab de Spotify à Paris. *D'ailleurs, quand tous les laboratoires d'informatique de l'université Paris-VI [université Pierre-et-Marie-Curie] ont été réunis en un seul, on l'a appelé LIP6 (laboratoire d'informatique de Paris-VI) alors qu'on aurait pu citer l'IA dans le nom.* »

Le *deep learning* n'a pas à lui seul dynamisé l'intelligence artificielle. Les travaux de Yann LeCun remontent d'ailleurs à la fin des années 1980 et la première application, mise au point avec Yoshua Bengio et Léon Bottou, est un système de reconnaissance d'écriture manuscrite sur les chèques, toujours utilisé aujourd'hui.

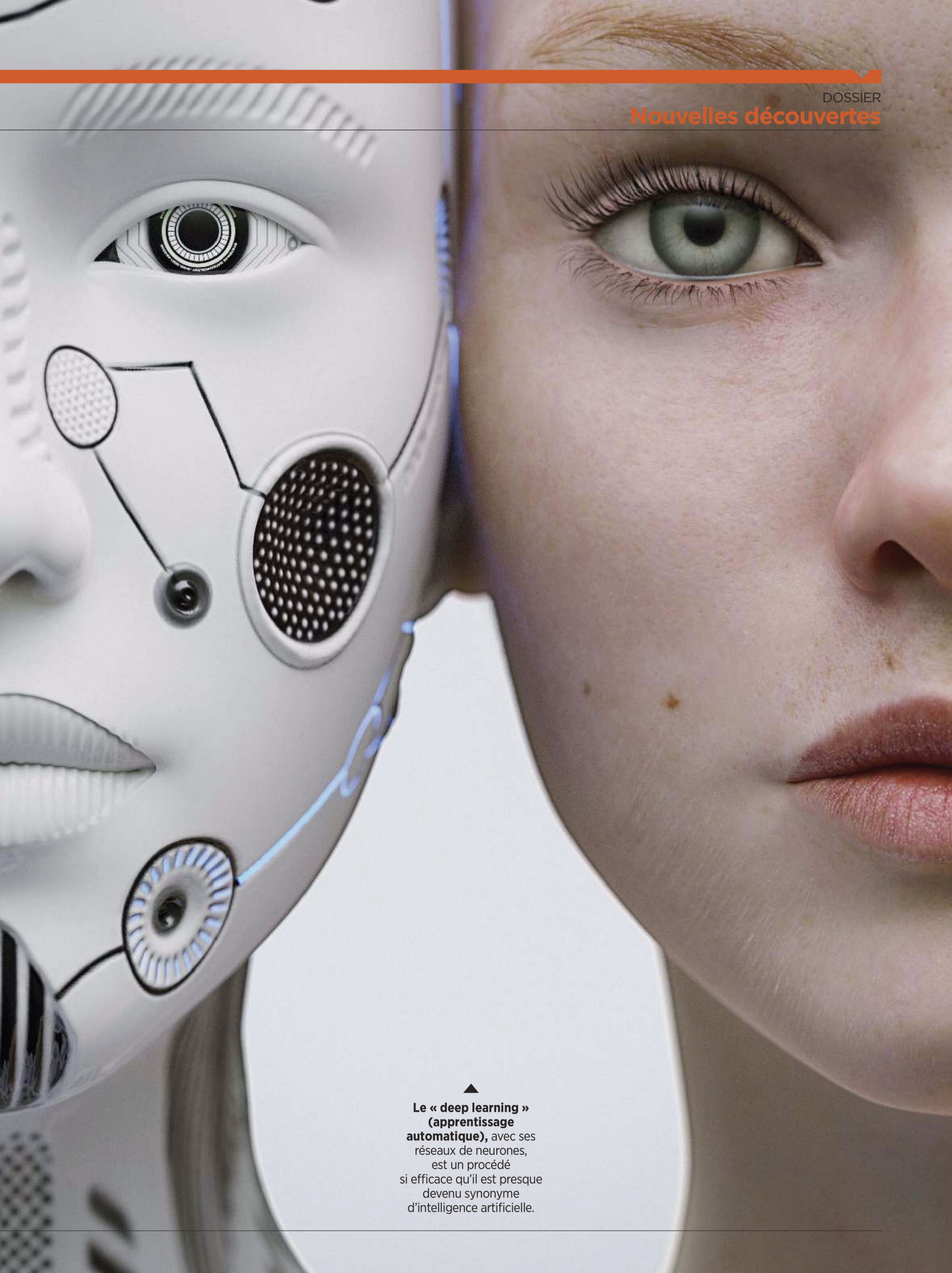
Mais pour aller au-delà, il a longtemps manqué la puissance de calcul et des bases de données fournies pour entraîner les algorithmes. L'usage de processeurs ▶

ERIC GARAULT/PASCOANDCO

« L'IA a été très à la mode dans les années 1980, puis est tombée en désuétude et il valait mieux ne pas en parler »

François Pachet, directeur du Creator Technology Research Lab de Spotify, à Paris

DONALD IAN SMITH/GETTY IMAGES



Le « deep learning » (apprentissage automatique), avec ses réseaux de neurones, est un procédé si efficace qu'il est presque devenu synonyme d'intelligence artificielle.

graphiques (GPU) pour faire tourner ces algorithmes et les millions de contenus disponibles sur Internet (vidéos, images, sons, textes…) vont changer la donne. En 2012, Geoffrey Hinton et ses deux doctorants Alex Krizhevsky et Ilya Sutskever font sensation au concours de reconnaissance d'image ImageNet avec le réseau de neurones AlexNet conçu par Krizhevsky : ils obtiennent un taux d'erreur inférieur de plus de dix points à ceux de toutes les autres équipes de recherche. C'est le boom pour le *deep learning*.

Mais l'IA en général en profite, d'autres méthodes ou variantes se développant. Ainsi les GAN, ou réseaux génératifs antagonistes, apparus en 2014, ou l'apprentissage par renforcement qui simule l'apprentissage par essai-erreur, sans entraînement sur un jeu de données. Le prochain hiver de l'IA ne semble pas être inscrit au calendrier. ■

Arnaud Devillard

L'impression 3D s'attaque à tous les matériaux même vivants

ELISABETH RULL/DIVERGENCE-IMAGES

Réalisé à partir de cellules, un biomatériau est imprimé sur un masque.

D'abord réservée aux besoins du prototypage rapide au début des années 2000, l'impression 3D est vite devenue un outil incontournable. À partir d'un fichier numérique 3D, il est possible de reproduire toutes sortes d'objets et de formes plus ou moins complexes : coque de téléphone, vase… Désormais, la diversité des matériaux utilisés (plastiques, métaux, céramiques…) impose cette technologie dans des secteurs de pointe comme celui des prothèses de membre robotisées ou l'aéronautique, etc. Il est même possible d'imprimer des cellules vivantes. O. H.

L'an 1 de la communication quantique

L'exploit a surpris Européens et Américains : en août 2017, la Chine a réussi la transmission d'une information ultrasécurisée sur une distance de 1203 kilomètres dans l'atmosphère grâce à son satellite Micius. Le principe utilisé, appelé intrication quantique, stipule que deux particules ayant interagi forment par la suite un système unique, même si elles se trouvent à des millions de kilomètres l'une de d'autre. La connaissance de l'état de l'une informe aussitôt sur l'état de l'autre. Une révolution en matière de cryptage. **A. Kh.**

La révolution du smartphone

« *J'attends ce jour depuis deux ans et demi…* » Le 9 janvier 2007, dans le cadre de l'une de ses conférences dépouillées, le fondateur d'Apple, Steve Jobs, présente le premier iPhone. Cet appareil combine les fonctions d'un téléphone mobile et celles d'un assistant électronique (les PDA), avec accès Internet, écran tactile et absence de clavier. L'iPhone ouvre la voie à la généralisation des smartphones. Ils vont bouleverser les usages numériques en permettant d'accéder à des services en ligne, comme les réseaux sociaux, depuis un appareil qui tient dans la poche. Le smartphone est au fil du temps devenu un outil de pilotage pour la domotique, l'Internet des objets, des fonctions de la voiture. On peut interagir avec à la voix, le verrouiller par la biométrie, se guider avec par géolocalisation… Mais l'appareil se révèle aussi un véritable mouchard, permettant de pister l'utilisateur. **A. D.**

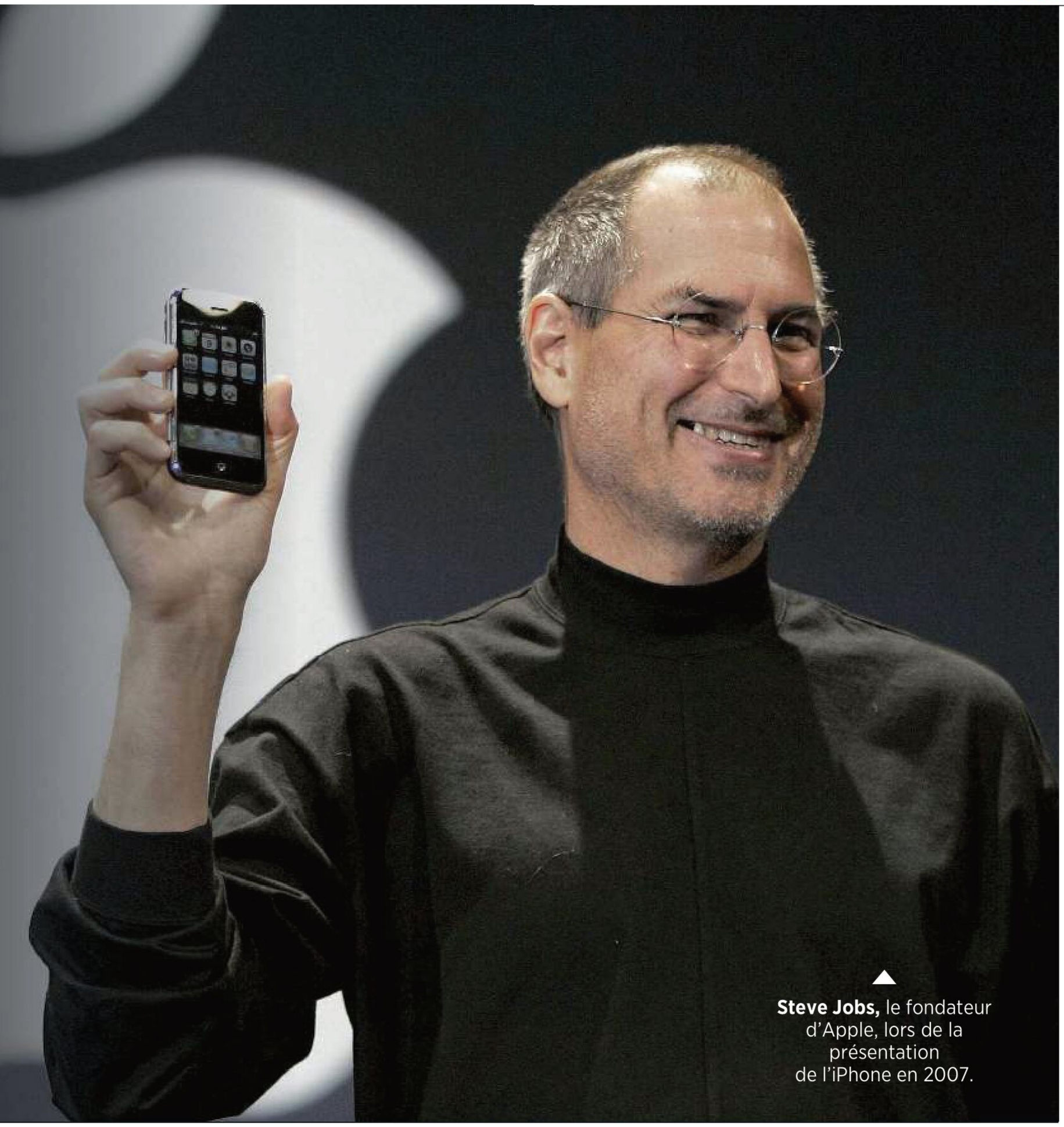
PAUL SAKUMA/AP/SIPA

Le Black Hornet Nano, d'un poids de 16 g, est utilisé par l'armée française dans des missions de reconnaissance.

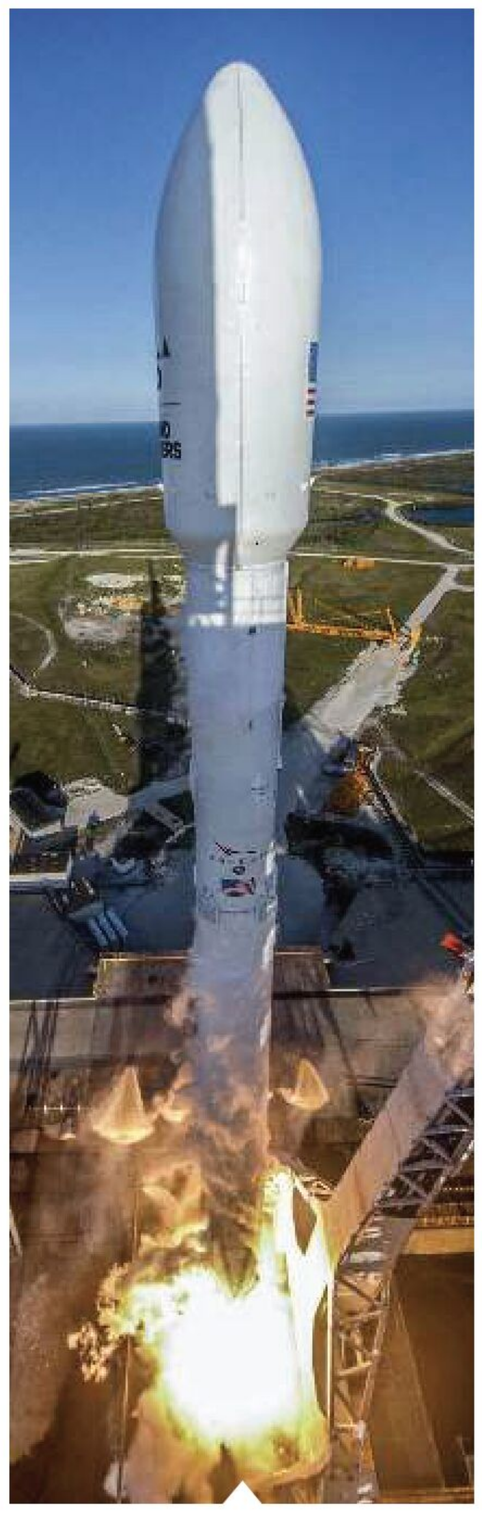
Petits ou grands, les drones sont partout

D'un côté, le minuscule Black Hornet Nano de 16 grammes utilisé par l'armée de terre française et développé par le norvégien Prox Dynamics (FLIR System). De l'autre, le Neuron d'environ 5 tonnes, impressionnant démonstrateur d'avion de combat furtif et sans pilote développé par Dassault. Entre les deux, le très populaire Mavic, quadricoptère de loisir du chinois DJI. La famille des drones est aussi vaste et variée que ses usages, qu'ils soient civils ou militaires : photographie aérienne, documentaire, inspection d'ouvrage d'art, renseignement, surveillance, plate-forme de tir, etc. Ces aéronefs autonomes ou pilotés à distance, associés aux développements de l'intelligence artificielle sont aussi source de craintes et d'enjeux éthiques majeurs. En raison de leur capacité d'action à distance, ils sont au cœur du débat sur les armes autonomes, des robots tueurs dont la décision d'attaquer est prise par des algorithmes, sans intervention humaine. O. H.

BEN STANSALL/AFP



Steve Jobs, le fondateur d'Apple, lors de la présentation de l'iPhone en 2007.



SPACEX

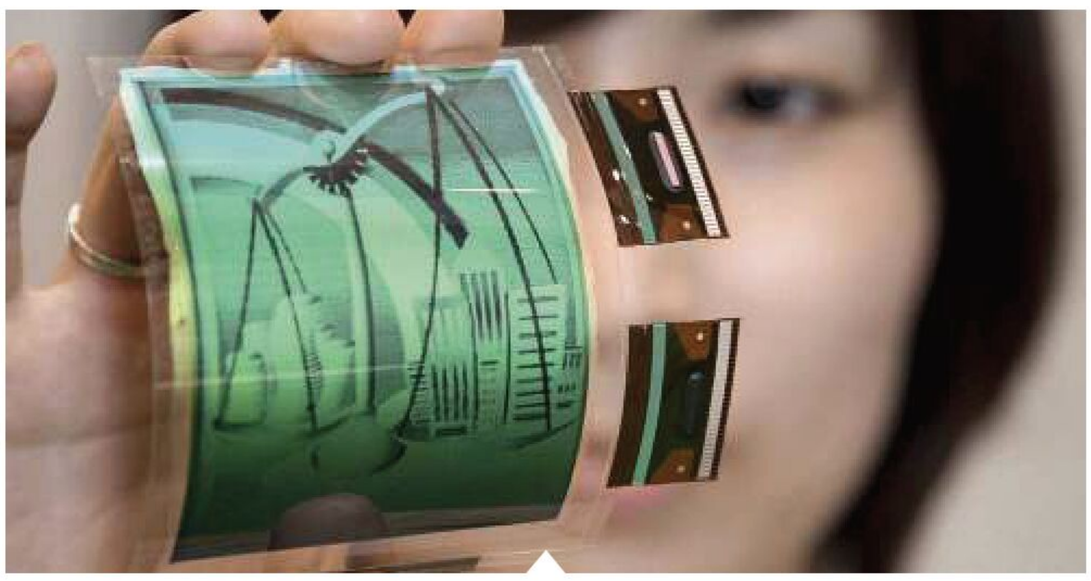
La fusée Falcon 9 décolle en 2017 avec un étage ayant été utilisé lors d'un tir précédent.

Les lanceurs deviennent réutilisables

Le 23 novembre 2015, le lanceur New Shepard de Blue Origin, la société de Jeff Bezos, réussissait à se poser verticalement sur sa cible d'atterrissage au Texas (États-Unis), quelques minutes après un vol à 100,5 km d'altitude. L'exploit a été renouvelé un mois plus tard par la fusée Falcon 9 de SpaceX, la société d'Elon Musk, à cap Canaveral, en Floride. C'est le début de l'ère des fusées réutilisables. SpaceX maîtrise aujourd'hui cette technologie, parvenant à faire atterrir, le 11 avril 2019, à la fois l'étage central et les boosters latéraux de sa fusée Falcon Superheavy. S. R.

L'électronique se plie à volonté

De nouveaux types de composants électroniques — transistors, diodes, mémoires, etc. — ont fait leur apparition au début des années 2000. Contrairement à ceux qu'on trouve dans l'industrie électronique « classique », ils ne reposent pas sur des cristaux de silicium qui se brisent comme du verre dès qu'on essaie de les tordre. Ils sont constitués en effet de polymères conducteurs, longues chaînes carbonées qui, en plus de conduire le courant, ont le bon goût d'être très légères… et surtout flexibles. Grâce à ces molécules organiques, des constructeurs comme Philips et LG Electronics développent dès 2007 les premiers écrans couleur flexibles, suivis par des smartphones incurvés… et, récemment, des téléviseurs enroulables ! **F. D.**

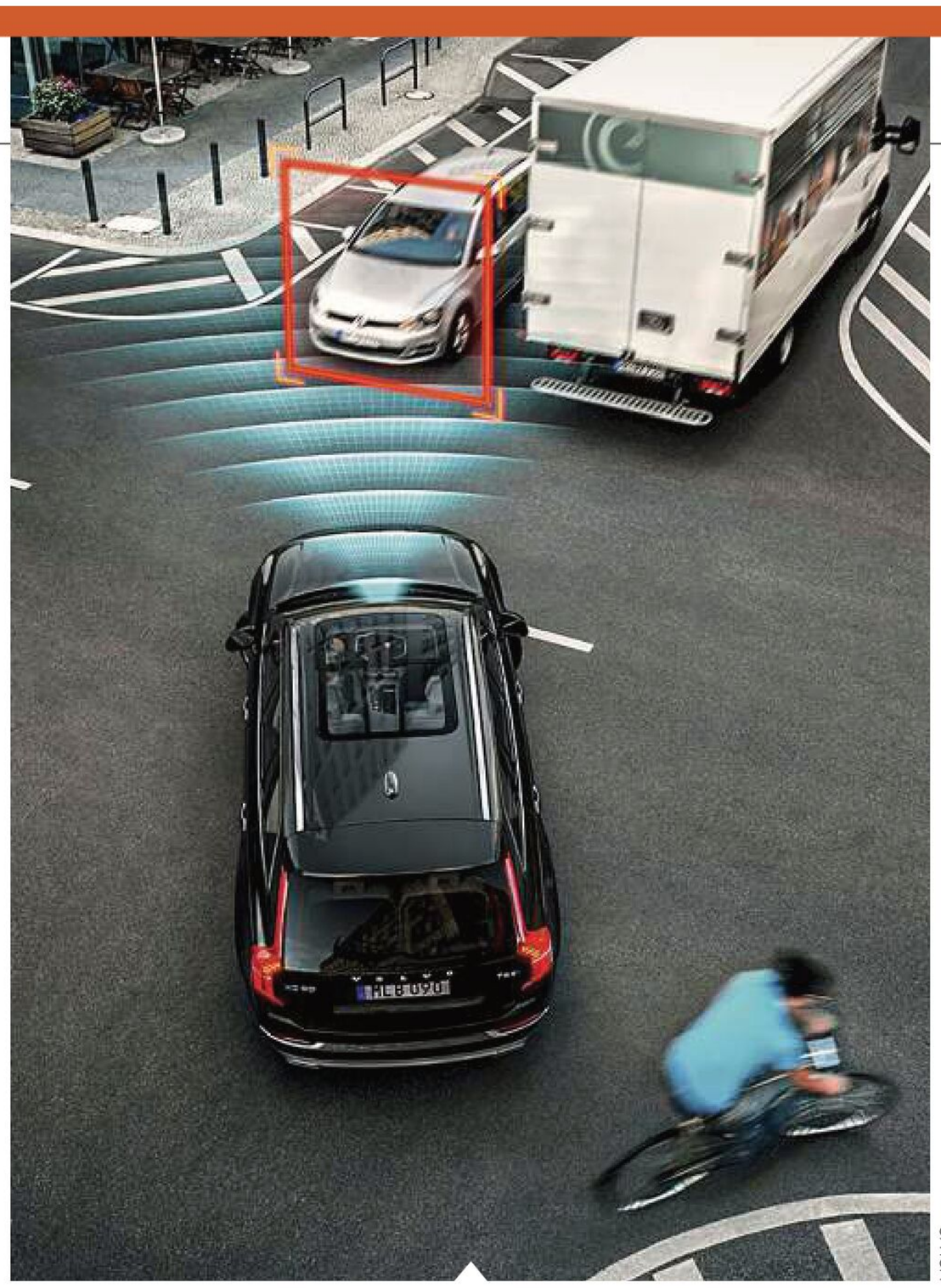


YOSHIKAZU TSUNO/AFP

Prototype d'écran électronique monochrome flexible de Fujitsu.

La voiture autonome séduit… et inquiète

Grâce à l'explosion de l'intelligence artificielle (IA), des capacités de traitement de données en temps réel, des performances toujours accrues des capteurs embarqués (caméras, lidars, radars…), la voiture sans pilote est une réalité en 2020. Les véhicules autonomes de Waymo (filiale d'Alphabet, maison mère de Google), l'une des sociétés les plus avancées dans ce domaine, ont déjà parcouru plus de 32 millions de kilomètres sur route depuis leur lancement en 2009. L'entreprise américaine exploite même le premier service commercial de taxis-robots à Chandler, près de Phoenix (Arizona), depuis 2018. Mieux, certains de ses véhicules circulent aujourd'hui sans la surveillance d'un humain. Pourtant, les performances de cette technologie ne suffiront pas à garantir son succès car la confiance des utilisateurs sera décisive. Or la mort d'Elaine Herzberg, première piétonne tuée par une voiture autonome Uber dans la périphérie de Chandler en mars 2018, a troublé les esprits. S'il ne fait aucun doute qu'une voiture-robot est plus sûre qu'une voiture pilotée par un humain, rien ne dit que cette technologie — dont il faudra aussi garantir les choix éthiques de l'algorithme — sera acceptée. **O. H.**



VOLVO

Les véhicules sans pilote sont une réalité en 2020. En dix ans, ils ont déjà parcouru des millions de kilomètres.

La folie planétaire du bitcoin

AFP

En janvier 2009 est apparu un nouveau type de devise : le bitcoin. Il s'agit d'une monnaie numérique générée par un algorithme, circulant sans organisme bancaire ni institut d'émission. Elle s'échange en ligne au moyen de technologies de chiffrement et sur une plateforme appelée *blockchain*. Celle-ci est distribuée à l'identique sur tous les ordinateurs des utilisateurs, l'historique de tous les échanges y est consultable comme sur un registre de comptes public. Le mécanisme de la *blockchain* garantit transparence et inaltérabilité des données. Il s'applique même à d'autres usages que des transactions monétaires (stockages d'identité, de droits d'auteur, traçabilité de produits). **A. D.**

Et le virtuel devint réalité

Fantasme ? Fantaisie de science-fiction ? Plus vraiment. Les années 2010 ont vu l'essor des casques de réalité virtuelle tels l'Oculus Rift, le HTC Vive, le Playstation VR ou des casques immersifs utilisant l'écran d'un smartphone comme le Google Cardboard ou le Samsung Gear VR. Le concept est ancien mais sans comparaison avec la qualité technique et graphique des derniers développements. Ces appareils, avec stéréoscopie et interactivité possible, ont trouvé leurs usages dans le jeu vidéo mais aussi en médecine, en architecture, en formation, en cinéma, en médiation culturelle. Avec les lunettes HoloLens, permettant d'afficher des éléments virtuels sur le réel, la réalité virtuelle se décline même en réalité mixte. **A. D.**

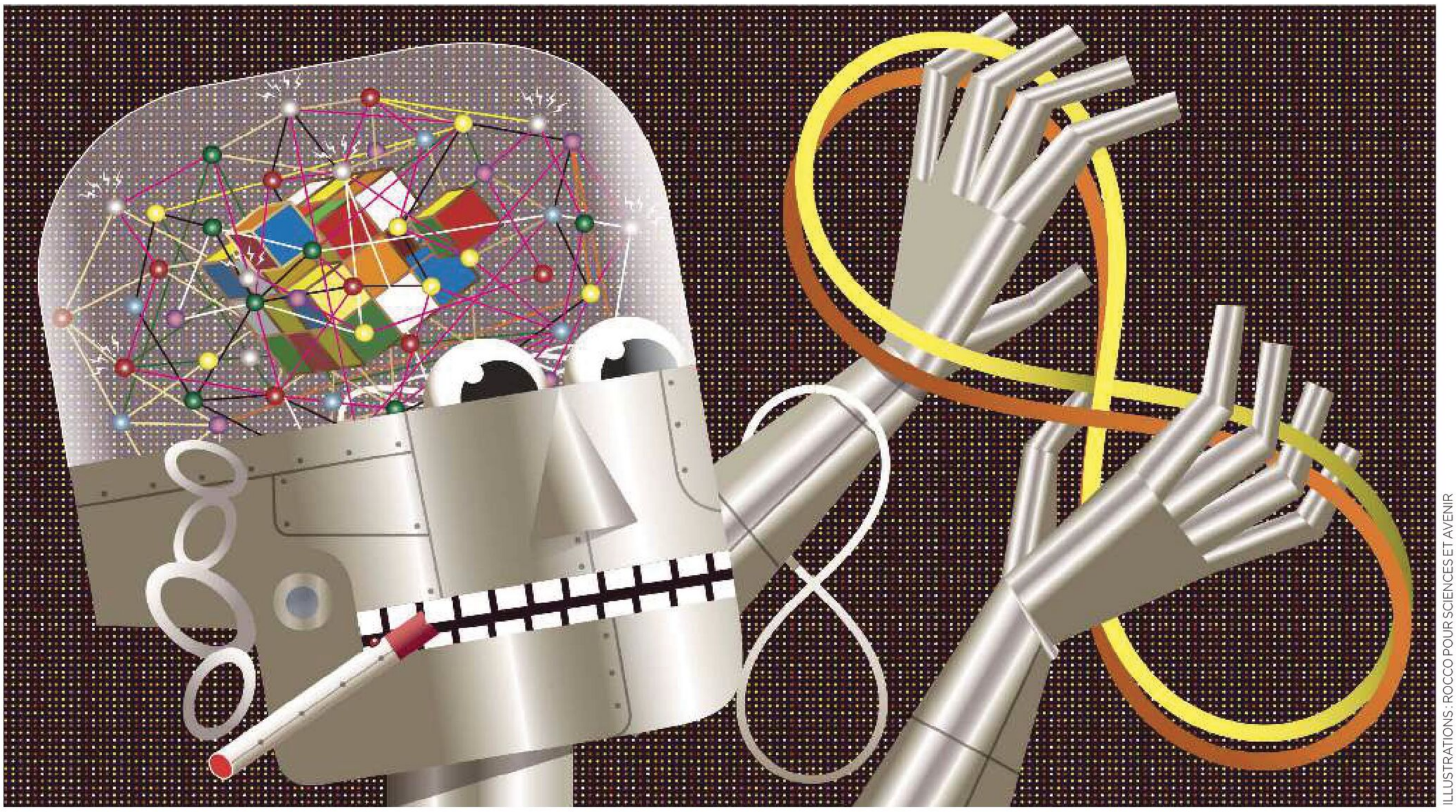
CYRIL FRESILLON/ESO/VISTA/J. EMERSON/LISIC/CRISTAL/SCV/IRDIVE/CNRS PHOTOTHÈQUE

TORE, à Tourcoing, offre une immersion dans des environnements virtuels 3D.

Le boom de l'e-cigarette

« Un moyen de créer une vapeur contenant de la nicotine qui soit proche de la fumée de tabac, mais qui ne soit pas aussi nocive pour l'organisme. » **C'est dans cette logique de réduction du risque que le Chinois Hon Lik a inventé la vapoteuse en 2003. En France, l'invention est depuis devenue le dispositif le plus utilisé dans le sevrage tabagique selon Santé publique France qui estime que 700 000 personnes ont totalement arrêté le tabac en recourant à une vapoteuse entre 2012 et 2019. Son usage reste toutefois controversé, car si la cigarette électronique est moins nocive que le tabac, elle conserve un potentiel de toxicité difficile à évaluer. H. J.**

QUIZ **HIGH-TECH**



ILLUSTRATIONS : ROCCO POUR SCIENCES ET AVENIR

1 L'intrication quantique a permis :
A ☐ de prouver l'existence de la mémoire de l'eau
B ☐ de créer des jumeaux numériques
C ☐ de transmettre une information

2 Parmi ces trois Geoffrey, lequel a reçu le prix Turing :
A ☐ Geoffrey Hinton
B ☐ Geoffrey Mieudialey
C ☐ Geoffrey Wilkinson

3 Le *deep learning* est une méthode d'apprentissage :
A ☐ de la plongée hyperbare
B ☐ de l'intelligence artificielle
C ☐ de la méditation en pleine conscience

4 Le Neuron est un démonstrateur de drone de combat furtif développé par :
A ☐ les Américains
B ☐ les Israéliens
C ☐ les Français
D ☐ les Chinois
E ☐ les Russes

5 C'est dans la ville de Chandler aux États-Unis que :
A ☐ la reconnaissance faciale a été testée pour la première fois
B ☐ circulent des taxis autonomes
C ☐ la première couverture en 5G a été achevée

6 En intelligence artificielle, avec quoi entraîne-t-on les algorithmes :
A ☐ des boucles circulaires rétroactives fermées (BCRF)
B ☐ des bases de données (BD)
C ☐ des coachs superviseurs virtualisés (CSV)

7 La *blockchain* est une technologie qui permet :
A ☐ d'échanger de la cryptomonnaie
B ☐ d'empêcher le déraillement des chaînes de vélos électriques
C ☐ de bloquer la diffusion de contenus pour adultes sur les écrans

8 Que signifie le sigle GPU :
A ☐ Graphics Processing Unit
B ☐ gaz de pétrole unifié
C ☐ Green Paradigm Union

9 ImageNet c'est :
A ☐ un concours de reconnaissance d'images
B ☐ un algorithme de défloutage d'images
C ☐ un réseau de partage d'images

10 La cigarette électronique a été inventée par le Chinois Hon Lik en :
A ☐ 1999
B ☐ 2003
C ☐ 2009

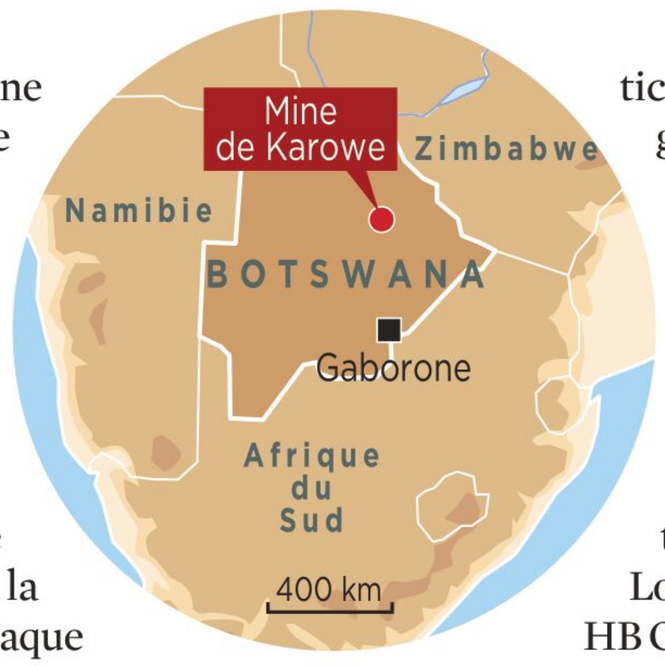
Solutions
1 C - 2 A - 3 B - 4 C - 5 B
6 B - 7 A - 8 A - 9 A - 10 B

La course aux diamants géants

Récemment extrait d'une mine du Botswana, le Sewelô pèse 1758 carats, ce qui en fait le deuxième plus gros diamant brut au monde. À l'origine de cet exploit, un système de tri du minerai très innovant. Les découvertes se succèdent.

Par Sylvie Rouat @srouat1

Le 19 avril 2019, c'est une pierre grosse comme un œuf d'autruche qui tombe sur le tapis roulant dédié aux diamants de la mine de Karowe, au Botswana. Incrédules, les employés découvrent alors un diamant improbable, à la fois par sa taille et sa couleur noire due à la fine couche de carbone opaque qui le recouvre entièrement. La pierre, qui ressemble plutôt à de l'obsidienne, pèse 1758 carats (350 grammes), ce qui en fait le deuxième plus gros diamant brut jamais extrait, après le Cullinan (3106 carats) découvert en 1905 en Afrique du Sud. Après une consultation à laquelle ont participé 22 000 Botswanais, la gemme a été baptisée *Sewelô* — « découverte rare » en langue setswana. Ce n'est que le 15 janvier qu'elle est réapparue sur la scène publique avec l'annonce d'une collaboration inédite entre Lucara, propriétaire de la mine de Karowe, Louis Vuitton et l'énigmatique HB Compagnie d'Anvers, récemment créée. C'est cette dernière qui doit maintenant procéder à l'analyse et à la taille du diamant *(lire l'encadré p. 68)*.



GRÉGOIRE VIEILLE/LOUIS VUITTON - INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS

L'histoire du Sewelô, c'est d'abord celle d'une géologue-aventurière qui a révolutionné les techniques d'extraction minière. En 1991, la Canadienne Eira Thomas, l'actuelle présidente de Lucara, a 22 ans et est fraîchement diplômée lorsque son prospecteur minier de père lui demande de l'aider à trouver un gisement au Canada, une terre jusque-là vierge de toute mine de diamants. À cette époque, la quasi-totalité des pierres brutes utilisées en bijouterie proviennent d'Afrique australe. Mais des pierres trouvées dans le sol et les rivières semblaient indiquer la présence de kimberlites dans le nord du Canada. La kimberlite tient son nom de la ville de Kimberley en Afrique du Sud,

Le Sewelô, recouvert d'une couche de carbone opaque, est un diamant très pur remonté des plus grandes profondeurs.

LUCARA DIAMONDS

La mine de diamants à ciel ouvert de Karowe, au Botswana, où depuis 2015, se multiplient les découvertes de pierres de grande taille.

où elle a été décrite pour la première fois en 1870, après la découverte d'un diamant enchâssé dans le mur d'une maison. Cette roche magmatique se forme à des centaines de kilomètres de profondeur dans le manteau terrestre, où les conditions de pression et de chaleur sont si intenses que le carbone se cristallise en diamant. Il y a plus de 2,5 milliards d'années, des flux volcaniques ont transporté ces minéraux jusqu'à la surface. Les vestiges de ces éruptions ont pris la forme caractéristique de tuyaux cylindriques de minerai riches en diamants : les kimberlites. L'ennui, c'est que seulement un site de kimberlite sur cent est diamantifère et un sur 20 000 susceptible d'être rentable...

GRAAF

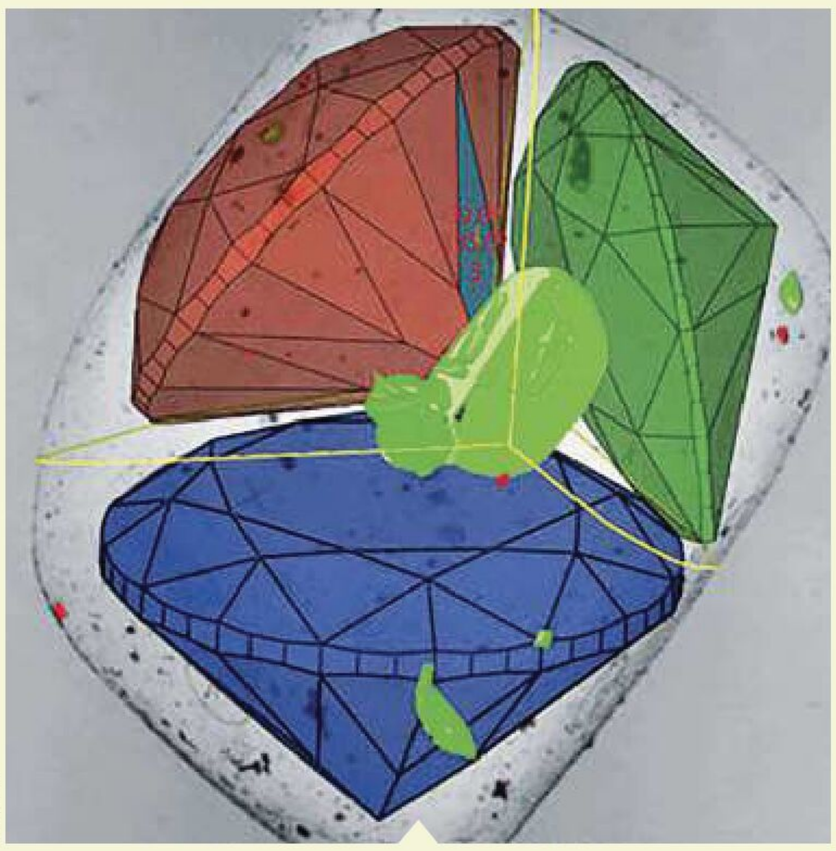
Le Graaf Lesedi La Rona est le plus grand diamant carré taille émeraude (302 carats). Il provient d'un diamant brut de 1109 carats découvert aussi à Karowe.

Peu de pierres, mais toutes de grandes dimensions

Eira Thomas rejoint donc les vastes territoires canadiens du nord-ouest et en 1994, à seulement 25 ans, son flair scientifique la mène à la découverte du gisement de diamants de Diavik, près du lac de Gras, l'un des plus riches du monde, fournissant depuis 2003 plus de 8 millions de carats (1600 kg) par an. Ce premier fait d'armes lui vaudra le surnom de « reine du diamant ». Mais la jeune géologue, qui suit son père sur les terrains de prospection depuis l'âge de 6 ans, ne s'arrête pas là. En 2007, elle fonde avec deux associés la société Lucara, dans le but de prospecter au Botswana, un pays d'Afrique australe qui tire 33 % de sa richesse nationale de l'activité diamantaire sans en faire des « diamants de sang ». Après des débuts difficiles, l'entreprise finit par racheter le site de Karowe au diamantaire sud-africain De Beers. Si ce dernier a découvert le site dans les années 1970, il ne l'a en réalité quasiment pas exploité du fait de sa faible teneur en gemmes comparée à celle du site voisin d'Orapa. En étudiant les échantillons extraits plus de trente ans auparavant, les géologues de Lucara s'aperçoivent que de nombreuses pierres ont été brisées le long de leurs lignes de fissures, et qu'elles sont sans doute issues de pierres plus grosses. Ils comprennent alors que ce sont les modes de tri de l'époque qui les ont réduites à de petites pierres. Ils en concluent que si le site de Karowe est relativement pauvre en diamants (quelque 15 carats par centaine de tonnes de minerai contre mille pour Diavik), ces rares diamants semblent être de grande dimension.

Il y a plus de 2,5 milliards d'années, des flux volcaniques ont transporté ces diamants jusqu'à la surface

Eira Thomas et son équipe décident alors de mettre en place une chaîne de tri innovante. Les blocs de minerai sont désormais brassés dans un tambour rotatif — un moulin autogène — où ils se cassent en s'entrechoquant,



ADVISO

La cartographie des inclusions (en vert clair) et l'analyse 3D de la pierre brute guident le travail du lapidaire (ici, le logiciel Advisor).

DE LA PIERRE AU BIJOU

L'IA va optimiser la taille du Sewelô

Le milliardaire français Bernard Arnault, propriétaire du Sewelô à travers l'entreprise Louis Vuitton Haute Joaillerie, a fait un pari risqué en acquérant ce diamant couvert d'une couche de carbone noire. S'il est bien le plus gros découvert en plus d'un siècle, nul ne sait s'il est possible d'en tirer des gemmes de grande taille. Ses couleurs et sa clarté sont elles-mêmes inconnues. Son sort est maintenant entre les mains de la nouvelle compagnie néerlandaise HB. Première étape : cartographier par laser la complexité de la pierre, ce qui nécessite de concevoir un instrument capable de voir à travers la couche de carbone. Les premiers sondages ont toutefois estimé que Sewelô pourrait donner des diamants de 904 et 891 carats pour les plus gros. La cartographie du diamant, de ses inclusions et de ses lignes de fissure, sera ensuite analysée par intelligence artificielle afin de déterminer le meilleur schéma de taille de la pierre, de manière à obtenir les plus grosses pierres taillées possible. En d'autres termes, pour un morceau de diamant intègre et pur, quelle peut être la forme de bijou la plus grande possible ? Avant toute coupe irréversible, les propriétaires s'assureront d'avoir un acquéreur pour le bijou projeté. La taille sera ensuite réalisée par une scie laser ultraprécise. Les chutes de diamant seront elles-mêmes taillées en petites gemmes.

- un processus bien moins destructif que le broyage pratiqué ailleurs en Afrique australe. Les pierres concassées doivent être ensuite triées pour repérer les diamants. C'est là qu'ils butent sur un nouveau problème : les diamants du gisement sont du type IIa, les minéraux remontés des plus grandes profondeurs, réputés pour leur transparence et leur pureté (quasi 100 % de carbone), qui ne représentent que 0,8 % de tous ceux extraits dans le monde ! Dépourvus d'azote, ils ne sont pas fluorescents et ne peuvent être détectés par la luminescence aux rayons X, un processus de tri utilisé dans les mines. Le géologue canadien John Armstrong suggère alors d'utiliser un autre type de détection par rayons X qui a fait ses armes dans l'industrie du recyclage des déchets.

C'est ainsi qu'en 2014, Lucara approche la société norvégienne TOMRA, fondée par les frères Planke dans les années 1970, initialement pour gérer le tri des bouteilles vides d'un épicier local. De décennie en décennie, l'entreprise a connu une extension mondiale tandis que ses technologies de recyclage se perfectionnaient. Pour les adapter aux mines de diamants, Lucara a investi plus de 50 millions de dollars dans l'entreprise norvégienne et a entièrement repensé son circuit de tri autour de six machines utilisant la technique dite de transmission des rayons X (XRT) *(voir l'infographie page ci-contre)*.

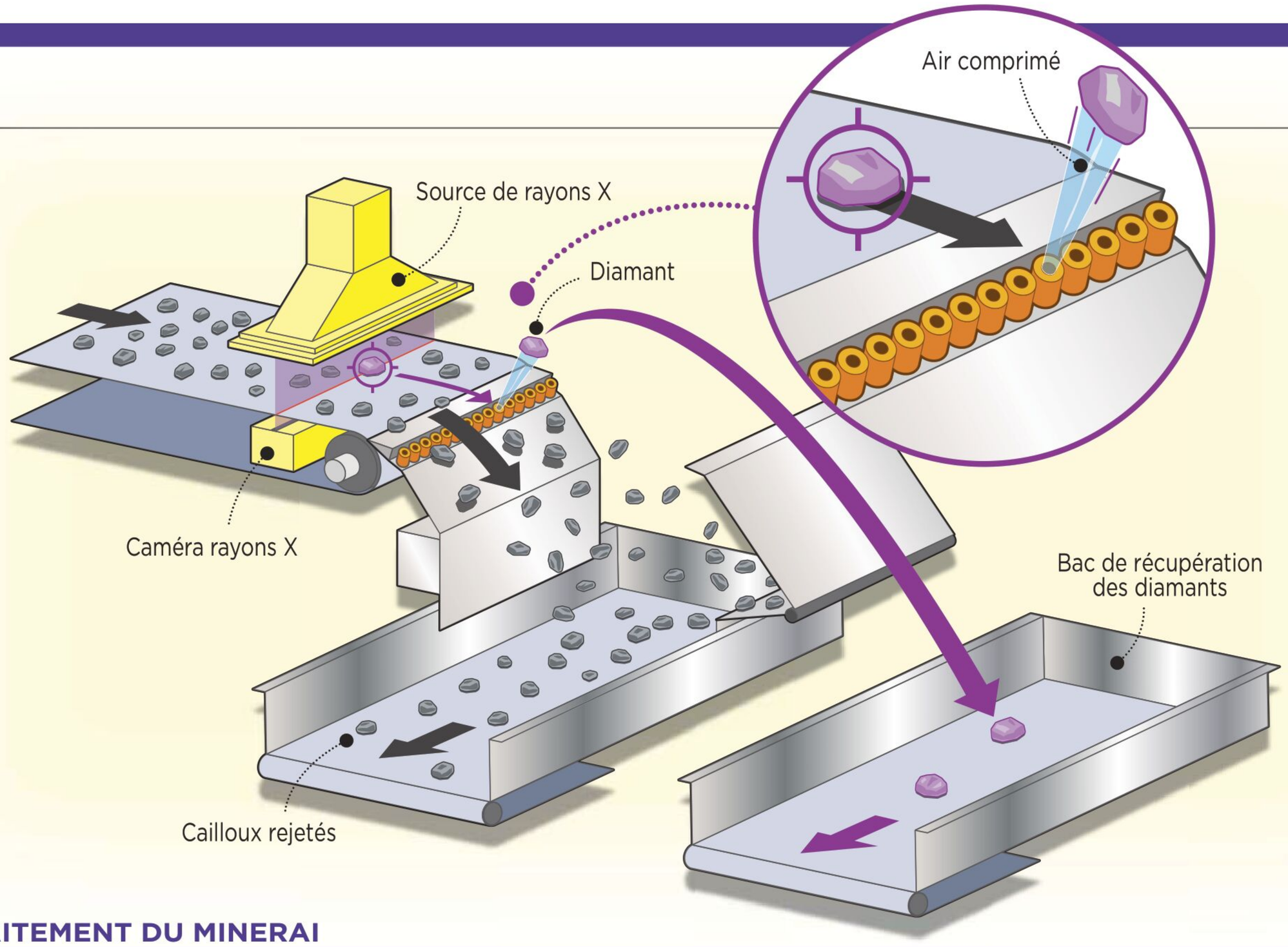
Une véritable caverne d'Ali Baba géologique

Une première machine pilote est mise en route. Mais elle n'isole pas le moindre diamant pendant des mois. Le doute s'instille chez les investisseurs. Néanmoins, les machines sont livrées. Et en avril 2015 l'usine entière n'utilise plus que la technologie XRT. Un pari risqué au vu des piètres premiers pas... Mais dès les premiers jours d'utilisation du nouveau système, c'est le jackpot avec la détection d'une pierre de 269 carats qui se vendra par la suite pour

Le Cullinan I (530 carats), serti sur le sceptre impérial britannique, est issu du Cullinan, le plus gros diamant brut jamais découvert (3106 carats).

Le Cullinan II (317 carats) orne la couronne impériale d'État britannique (en blanc, en bas au centre). C'est la deuxième plus grosse pierre provenant du Cullinan.

HM THE QUEEN ELIZABETH II



TRAITEMENT DU MINERAI

La détection par « transmission des rayons X »

Après l'étape de concassage, le flux de minerais est déversé sur un tapis roulant. Les pierres sont ensuite « scannées » par un tube à rayons X, dont le rayonnement pénètre les matériaux et fournit des informations d'absorption spectrale mesurées par une caméra à rayons X. Placée à l'opposé du dispositif, celle-ci analyse la « transparence des atomes » aux rayons X. Le carbone ayant un numéro atomique parmi les plus faibles, on peut facilement le distinguer des autres minerais, car il est le plus transparent aux rayons X. Lorsque le système détecte un diamant, un signal est envoyé à l'unité de contrôle, qui ouvre la vanne correspondant à sa position sur la bande transporteuse. Le minéral est alors séparé du flux de matériaux par un jet d'air comprimé, qui la fait retomber dans un deuxième circuit de tri.

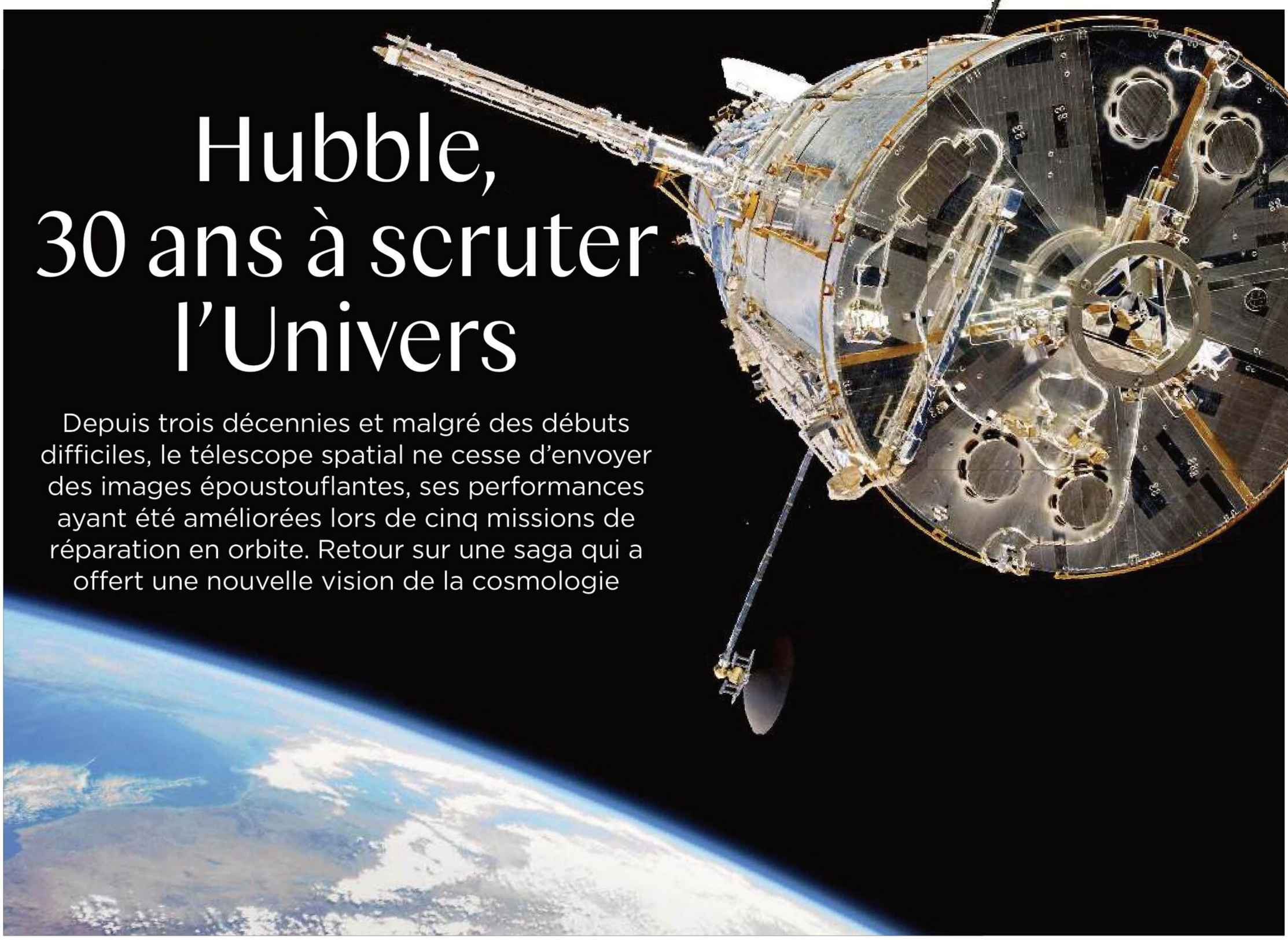
quelque vingt millions de dollars. Entre-temps, les chercheurs de Lucara ont mis en exploitation le lobe sud du gisement, après avoir fait chou blanc avec le lobe nord. Six semaines de découvertes de pierres exceptionnelles vont d'emblée rembourser l'investissement dans les nouvelles machines. Et le 16 novembre 2015, c'est une pierre grosse comme une balle de tennis qui est découverte : le Lesedi La Rona, d'un poids de 1109 carats, le troisième plus gros diamant jamais découvert, après le Cullinan et le Sewelô. Son acheteur — pour 63 millions de dollars —, le joaillier britannique Graff en a tiré un diamant taillé en émeraude de 302 carats et 66 pierres plus petites. Dès le lendemain de la découverte, deux pierres de 374 et 813 carats rejoignent les coffres de Lucara. Celle de 813 carats, nommée Constellation, est le huitième plus gros diamant du monde. En 18 mois de fonctionnement, plus de 200 kg de diamants sont sortis du lobe sud de la mine. Une véritable caverne d'Ali Baba géologique ! Dernière annonce en date de Lucara, avant le confinement : une pierre de 549 carats a été découverte début février. C'est le premier gros diamant que l'entreprise d'Eira Thomas récupère grâce au « Mega Diamond Recovery », un équipement mis en place en 2017 directement derrière le premier broyeur sur le site d'extraction, en amont de l'usine de traitement, installé là pour maximiser la récupération de diamants d'exception.

Depuis le début de l'exploitation de la mine de Karowe, Lucara a vendu 214 diamants à plus de 1 million de dollars pièce et dix à plus de 10 millions de dollars. La société canadienne prévoit d'exploiter la mine à ciel ouvert jusqu'en 2026 et de creuser ensuite le sous-sol en arborescence. La mine de Karowe devrait ainsi continuer à bouleverser le marché du diamant probablement jusqu'en 2040. ■

Depuis le début de l'exploitation de la mine de Karowe, Lucara a vendu 214 diamants à plus de 1 million de dollars chacun

Hubble, 30 ans à scruter l'Univers

Depuis trois décennies et malgré des débuts difficiles, le télescope spatial ne cesse d'envoyer des images époustouflantes, ses performances ayant été améliorées lors de cinq missions de réparation en orbite. Retour sur une saga qui a offert une nouvelle vision de la cosmologie



NASA

À ENVIRON 600 KILOMÈTRES au-dessus de nos têtes, l'air est quasi absent. Comment Hubble (Hubble Space Telescope, HST) a-t-il soufflé ses 30 bougies voici quelques semaines ? Les ingénieurs qui gèrent le télescope spatial pour le compte de la Nasa américaine (85 %) et de l'Esa européenne (15 %) ont sûrement trouvé un « truc ». Comme ils n'ont cessé de le faire depuis son lancement en 1990 pour maintenir en état ce joyau de l'astronomie dont la moisson d'images a époustouflé le monde. Celle qui restera comme la plus emblématique est les « Piliers de la création », un détail de la Nébuleuse de l'Aigle, à 7000 années-lumière de nous. On y découvre, fascinés, une étape de la formation des étoiles, domaine dans lequel Hubble a apporté un flux inédit de données. Tout comme dans celui de l'observation du « champ profond de galaxies », cette petite fenêtre sur les confins de l'Univers. Aujourd'hui affaibli, ce télescope mythique joue les prolongations pour quelques mois encore en attendant son successeur, le James Webb Space Telescope (JWST), qui devrait être lancé en 2021.

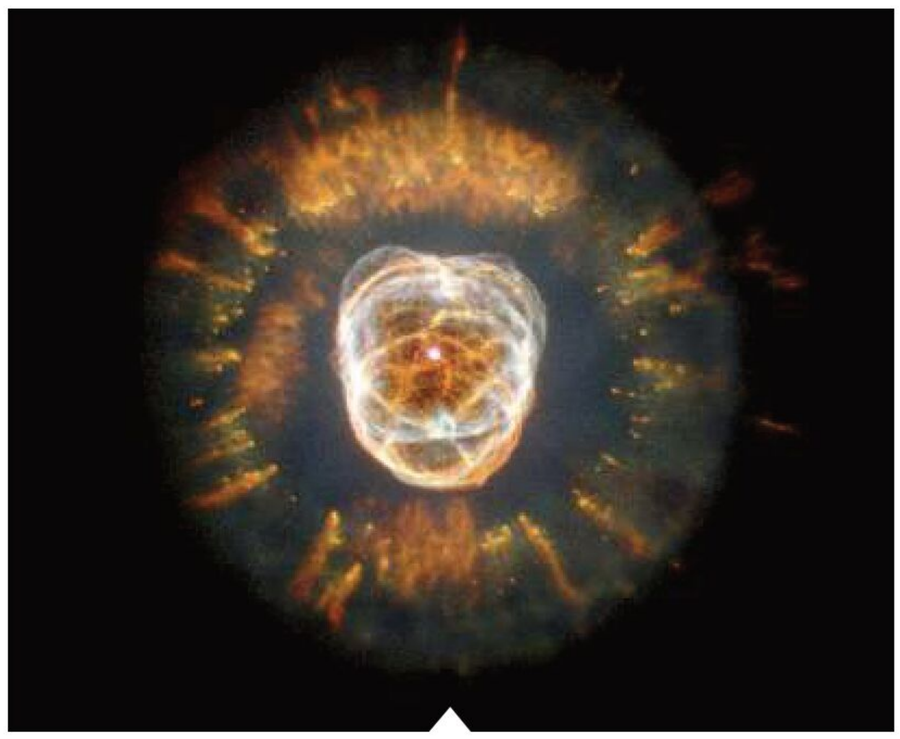
Rien ne laissait présager la longue et riche vie de Hubble tant ses débuts furent chaotiques. D'un coût initial de 1,5 milliard de dollars, sa note a dépassé 6 milliards du fait des cinq missions qu'il a fallu lancer pour venir au secours de cet engin qui, sans moteurs, devait être régulièrement remonté sur son orbite située à 600 kilomètres. « *Cinq missions de maintenance, d'amélioration et de rehaussement de l'orbite étaient prévues tous les trois ans durant sa durée de vie estimée de quinze ans. Mais elles sont vite devenues des missions de sauvetage* », rappelle Jean-François Clervoy. Le spationaute français était le responsable du bras robotisé lors de la troisième mission (1999), lorsque Hubble ne pouvait plus se stabiliser en raison du dysfonctionnement de quatre de ses six gyroscopes. Mais l'épopée la plus marquante s'était déroulée six ans auparavant. En effet, dès

La galaxie spirale M100 est la première photographie réalisée en 1994 par Hubble, après correction de la mauvaise courbure initiale de l'optique du télescope, lors de la première mission de réparation.

NASA

NASA, ESA, AND THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA) NASA, ESA, AND THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA)

Les Piliers de la création, en 1995, sont l'une des images les plus célèbres. Ces grandes masses de gaz au sein de la nébuleuse de l'Aigle abritent de jeunes étoiles.



NASA, ANDREW FRUCHTER AND THE ERO TEAM

La nébuleuse planétaire de l'Eskimo. Un tirage de cette image prise en 2000 a été offert à Jean-François Clervoy après sa mission de réparation d'Hubble fin 1999.

NASA, ESA ET STSCI

Cette pouponnière d'étoiles saisie par Hubble a été publiée par la Nasa pour fêter les 30 ans du télescope.

les premières images, les ingénieurs s'étaient aperçus, dépités, que la courbure du miroir n'était pas la bonne. Résultat : des images floues, Hubble souffrant de myopie. La première mission a alors consisté, entre autres, à ajouter un dispositif optique, le Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement (Costar), pour corriger le flux lumineux. Bingo ! Hubble a dès lors pointé avec succès vers tout ce qu'il a pu trouver. Tout d'abord en direction des planètes du Système solaire, telle la géante Jupiter, dont la qualité d'image ne sera battue qu'avec les missions spécifiques comme Galileo (1996). Puis vers la comète Shoemaker-Levy-9 (1994) dont l'éclatement en morceaux sur Jupiter a pu être suivi en direct.

Sa capacité à voir loin comble les chercheurs

Hubble transmet aussi des images de galaxies, comme l'extraordinaire spirale M100. L'apport d'une caméra infrarouge durant la deuxième mission (1997) augmente encore ses performances. Au point que l'avancée la plus importante est la formation et l'évolution des galaxies. « *L'un des héritages du HST est ce que l'on nomme les "champs profonds"* [zones les plus éloignées de l'univers visible] *: le Hubble Deep Field en 1995, l'Ultra Deep Field en 2006 et l'eXtreme Deep Field en 2012*, s'extasie Françoise Combes, professeure au Collège de France. *Nous y avons découvert des galaxies très éloignées, donc très jeunes, et avons pu "voir" leur évolution.* » Cette capacité à voir loin a aussi comblé les cosmologistes, qui cherchent à comprendre l'origine et la structure de l'Univers. Hubble a ainsi permis de mesurer la constante... de Hubble, le taux d'expansion de l'Univers qui dépend à la fois de la distance et de la vitesse des astres. « *Il était conçu pour ça et il l'a fait !* », s'enthousiasme Alain Blanchard, professeur à l'université Paul-Sabatier à Toulouse. Pour cela, Hubble a ainsi recueilli les courbes de lumière de certaines étoiles : les céphéides, dont l'éclat varie périodiquement, et les supernovae de type 1a, des naines

blanches qui explosent toujours de la même manière après avoir englouti la matière d'une étoile compagnon. La différence relevée dans leur luminosité signe leur distance et leur décalage vers le rouge (effet dit Doppler-Fizeau) permet de déduire leur vitesse. Autant de mesures qui ont servi à Adam Riess, du Space Telescope Science Institute, pour établir que l'expansion de l'Univers est en accélération, ce qui lui a valu de remporter le prix Nobel en 2011.

Hubble ne fêtera pas de décennie supplémentaire

Mais Hubble n'a pas été qu'une machine à faire des images. La précision de son spectromètre STIS a aussi permis d'observer les exoplanètes, la grande révolution des trente dernières années. « *Le HST est toujours un instrument qui permet d'obtenir des spectres sans précédent de l'atmosphère des exoplanètes proches de leur étoile* », précise Isabelle Baraffé, directrice du centre d'astrophysique de l'université d'Exeter (Royaume-Uni).

Hélas, Hubble ne fêtera pas de décennie supplémentaire. Son successeur, le James Webb Space Telescope (JWST), sera lancé officiellement en mars 2021, mais plus sûrement à l'automne. En attendant, il poursuivra sa mission avec ses deux seuls gyroscopes encore en fonctionnement... « *Contrairement à 1999, les ingénieurs ont aujourd'hui trouvé des algorithmes qui permettent une bonne stabilisation malgré cette pauvre disponibilité des gyroscopes* », se réjouit Jean-François Clervoy. Ensuite, Hubble ne survivra plus que de manière symbolique à travers le souvenir de sa plus ardente défenseure Nancy Grace Roman. La Nasa a en effet décidé de donner le nom de cette ex-directrice du programme d'astronomie de l'agence spatiale, décédée en 2018, au télescope infrarouge américain WFIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope) qui sera lancé en 2025. Un beau cadeau d'anniversaire. ■ **Jacques-Olivier Baruch**

CINQ MISSIONS DE RÉPARATION

1993 Ajout de lunettes, d'un magnétomètre et remplacement d'un panneau solaire.

1997 Ajout d'une caméra infrarouge et remplacement d'un spectromètre.

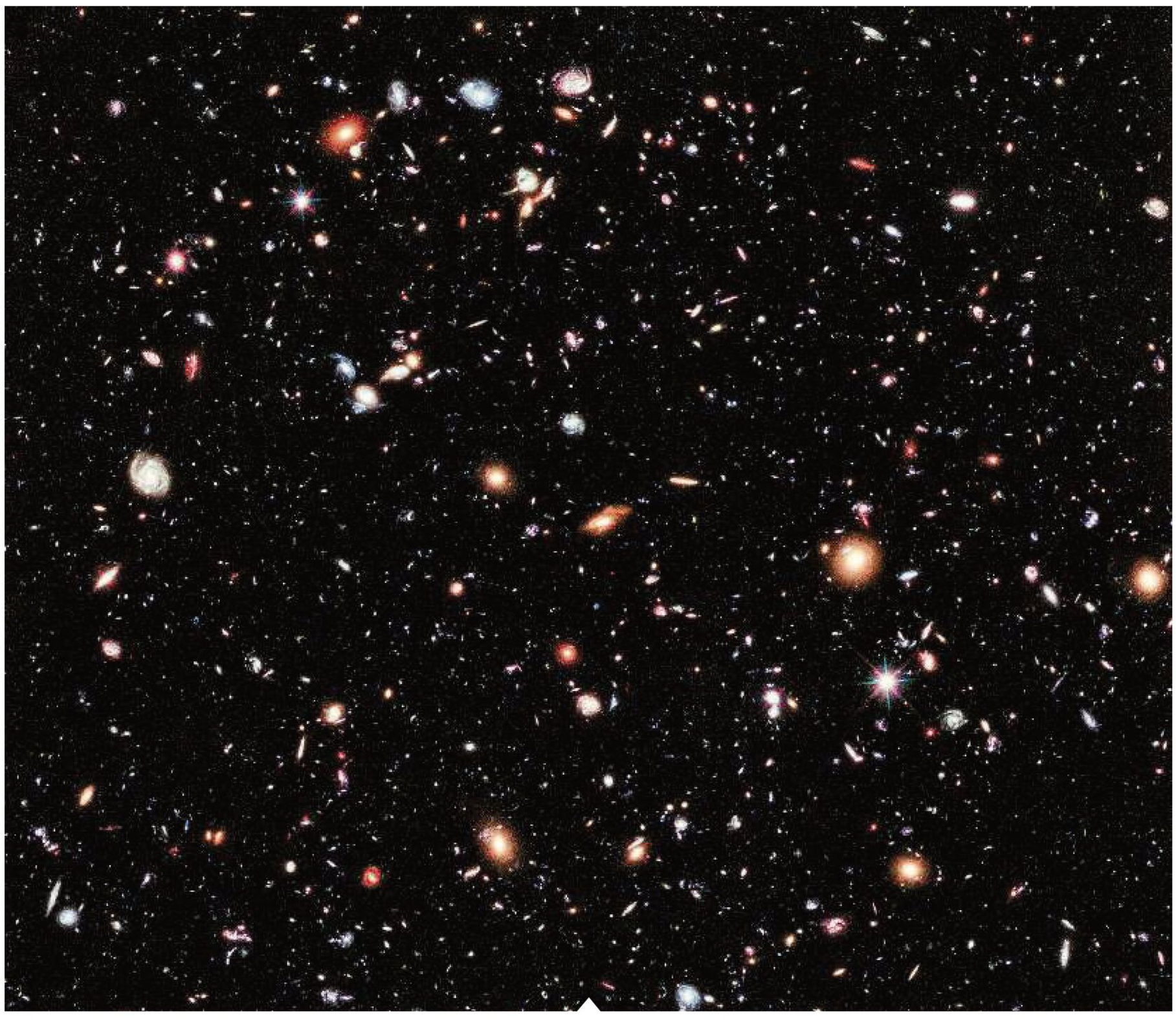
1999 Changement des gyroscopes et de l'ordinateur de bord.

NASA

2002 Installation d'une nouvelle caméra à grand champ, plus performante.

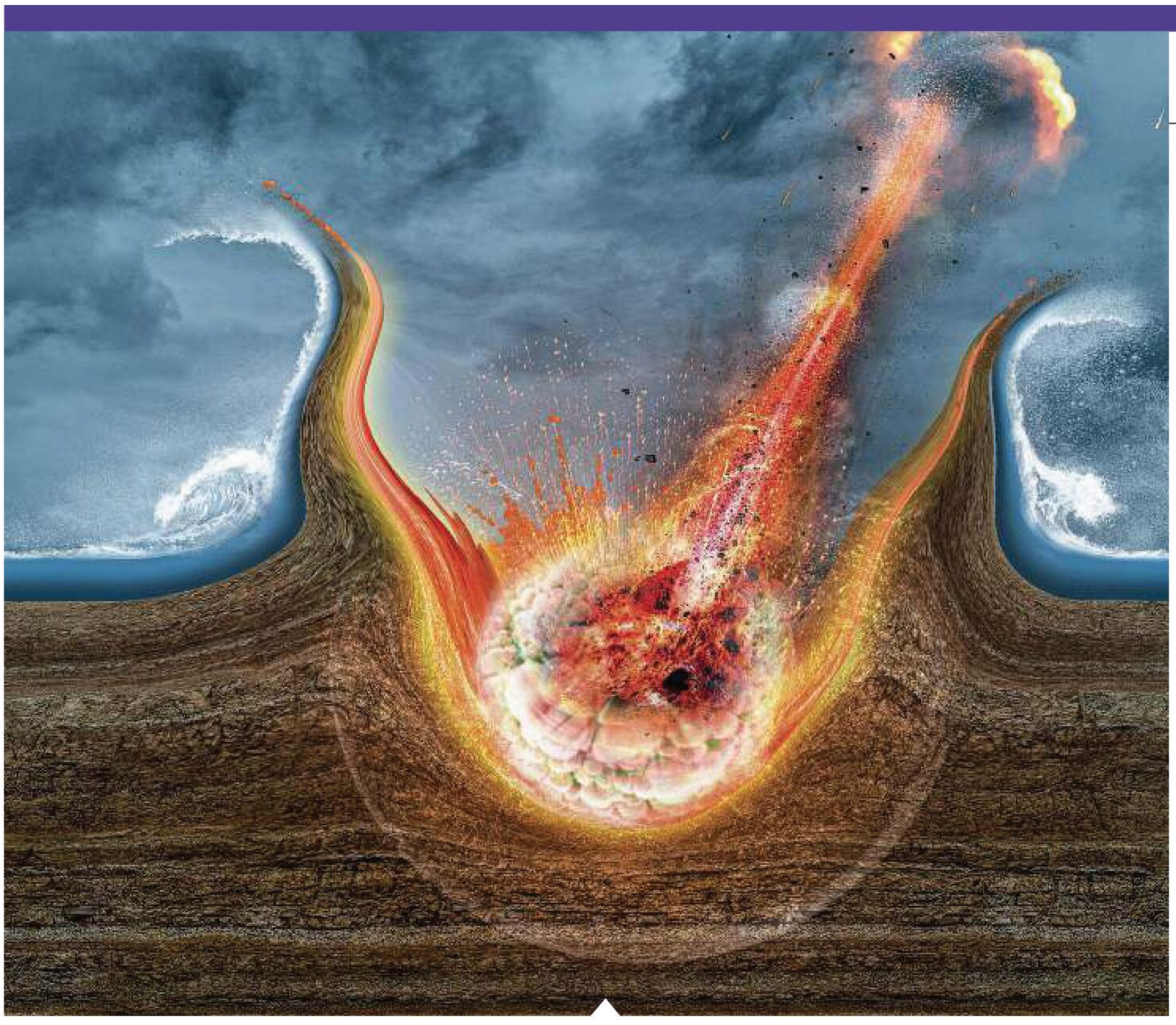
2009 Ajout d'une caméra à grand champ et d'un spectrographe.

NASA



NASA; ESA; G. ILLINGWORTH, D. MAGEE, AND P. OESCH, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SANTA CRUZ; R. BOUWENS, LEIDEN UNIVERSITY; HUDF09 TEAM

L'image la plus profonde du ciel (eXtreme deep Field), obtenue en 2012 après assemblage de plus de 2000 images collectées par Hubble, dévoile des dizaines de milliers de galaxies.



CLAUS LUNAU/SPL/AKG IMAGES

L'inclinaison avec laquelle le corps rocheux a heurté la Terre il y a 66 millions d'années a entraîné des dégâts considérables (vue d'artiste).

Le scénario du pire pour les dinosaures

Selon de nouvelles simulations, c'est avec un angle fatal de 60° que l'astéroïde a percuté la Terre, entraînant la disparition de plus de 70 % des espèces vivantes et modifiant le climat global.

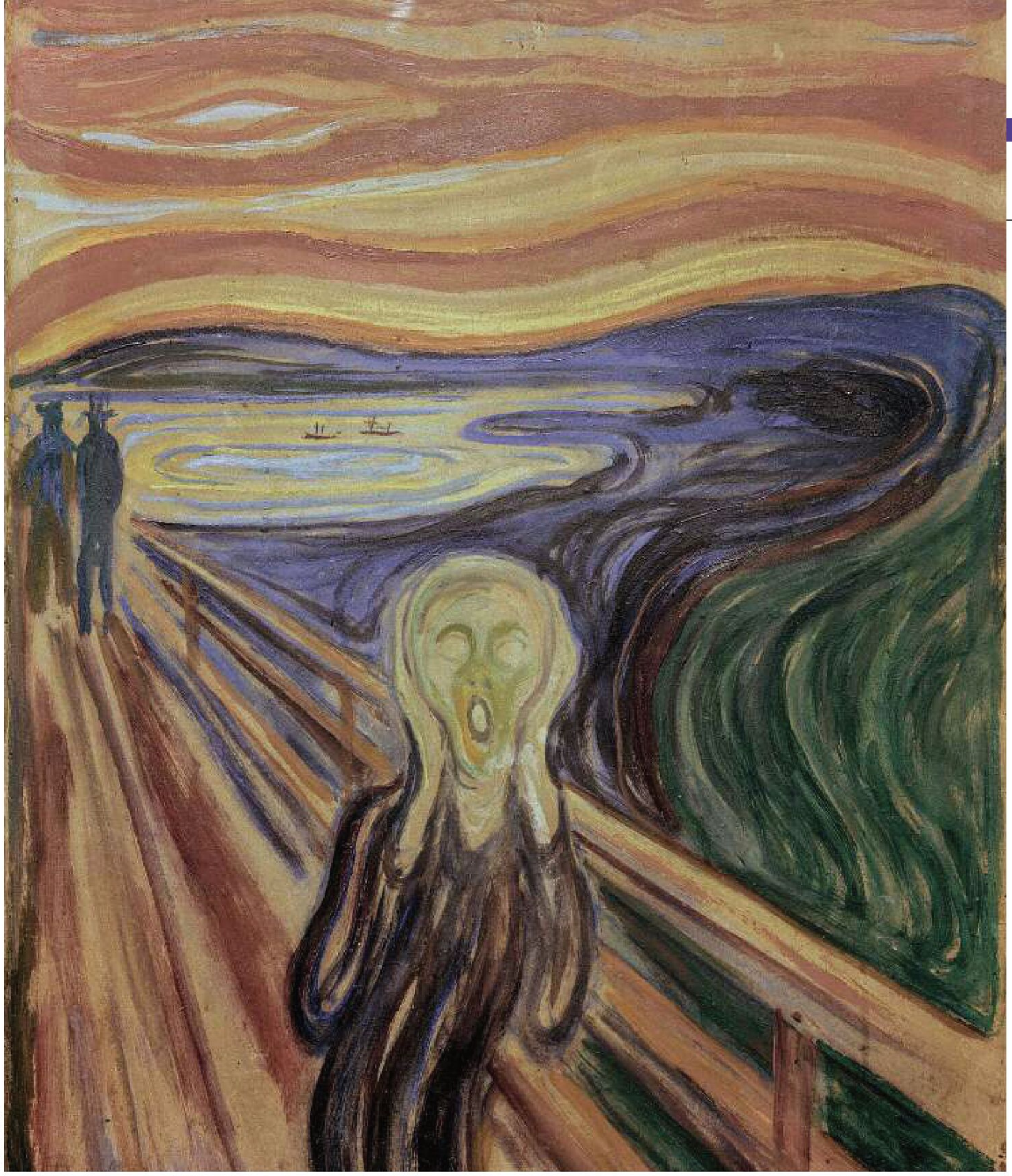
LES DINOSAURES N'AVAIENT DÉCIDÉMENT aucune chance. L'astéroïde qui a percuté la Terre il y a 66 millions d'années et entraîné la disparition de plus de 70 % des espèces végétales et animales, les dinosaures non aviaires en particulier, s'est écrasé avec la pire inclinaison possible : un angle de 60° qui a projeté un maximum de débris dans la haute atmosphère et modifié de manière irréversible le climat global. Avec un consortium de scientifiques internationaux, des chercheurs de l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni) sont parvenus à cette conclusion en combinant des simulations numériques avec les données géophysiques sur le cratère d'impact, large de 200 kilomètres et situé au Mexique dans la péninsule du Yucatan. « *C'est la première fois que cet événement cataclysmique est modélisé en trois dimensions et dans sa totalité, depuis l'impact jusqu'à la fin de la formation du cratère*, se réjouit Ludovic Ferrière, géologue et conservateur de la collection de météorites du muséum d'Histoire naturelle de Vienne (Autriche), coauteur de l'étude. *Grâce à ces travaux, nous avons désormais une vision beaucoup plus précise de la trajectoire de l'astéroïde et des circonstances qui ont provoqué une extinction de masse à la fin du crétacé.* »

La chute d'un astéroïde est toujours très difficile à reconstituer. L'érosion efface en effet la plupart des éjectas et cicatrices laissés par les collisions, sans parler des sédiments qui s'accumulent au-dessus des cratères d'impact. Celui de Chicxulub découvert au début des années 1990 dans le sud-est du Mexique, pour moitié sur la terre ferme et pour moitié sous la mer, n'échappe pas à la règle. Il a été enseveli sous quasiment 1000 mètres de roches, même si des forages et des analyses sismiques, réalisés notamment en 2016 au large des côtes mexicaines, ont fourni des informations capitales sur les propriétés et la morphologie du cratère. Les chercheurs britanniques ont pu ainsi simuler informatiquement la chute de l'astéroïde. Quatre grands types de scénarios ont été modélisés : des impacts à 30°, 45°, 60° et 90°... avec un supercalculateur fournissant l'équivalent de deux millions d'heures de calcul.

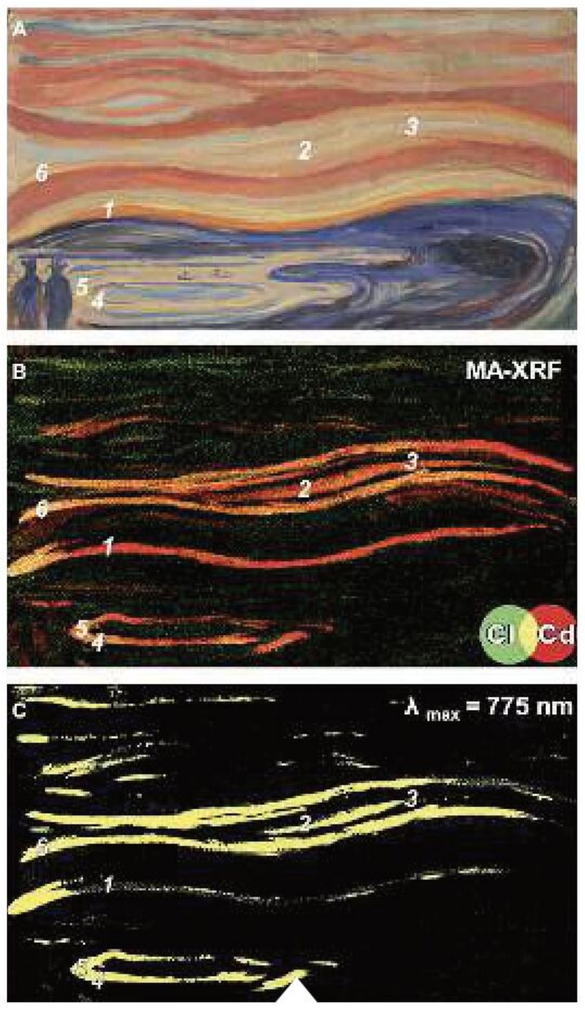
Un maximum de gaz et de poussières en haute altitude

Les simulations indiquent très clairement qu'un astéroïde d'environ 20 kilomètres de large venant du nord-est a percuté la surface selon un angle proche de 60°. Soit une inclinaison beaucoup plus importante que ce que d'anciennes modélisations, moins précises, suggéraient. « *Contrairement à une chute verticale ou à une inclinaison rasante, un angle de 60° soulève un maximum de poussières et de gaz à très haute altitude qui se répandent ensuite dans toute l'atmosphère* », explique le géologue. Des milliards de tonnes de vapeur d'eau, de dioxyde de carbone et de soufre ont recouvert ainsi la planète entière, bloquant les rayons du Soleil et provoquant un « hiver nucléaire » fatal à la plupart des espèces vivantes. ■

Franck Daninos @fdaninos



AKG IMAGE



LETIZIA MONICO ET AL.

L'analyse de la couche picturale du « Cri », peint en 1910 (à gauche), a montré que l'humidité et la chaleur étaient responsables de la dégradation du jaune de cadmium utilisé par le peintre norvégien.

Pourquoi « Le Cri » perd ses couleurs

L'analyse du célèbre tableau d'Edvard Munch au synchrotron de Grenoble a permis de comprendre le mécanisme responsable de l'altération chimique des pigments jaunes.

C'EST UN CRI D'ALARME ! La célèbre figure fantomatique peinte par le Norvégien Edvard Munch se détériore et perd ses couleurs d'année en année. Si bien que des chercheurs du Conseil national italien de la recherche (CNR) aidés par les universités de Pérouse (Italie) et d'Anvers (Belgique) se sont penchés sur son cas. Leurs résultats viennent d'être publiés dans *Science Advances*. Réalisé en cinq versions — deux peintures, un pastel, une au crayon et une lithographie entre 1893 et 1910 —, *Le Cri* illustre le paroxysme d'une crise d'angoisse existentielle. La version de 1910 reste la plus célèbre. Ce tableau vibrant, véhiculant une émotion intense, arbore des couleurs vives. Mais le jaune vif utilisé par le peintre révèle de moins en moins éclatant et s'est transformé en un blanc cassé au niveau du soleil couchant, à l'arrière-plan, ainsi que sur le cou du personnage. L'épaisse couche de peinture jaune opaque sur le lac, dans le décor, est par ailleurs en train de s'écailler.

Les scientifiques pensaient d'abord à une dégradation du tableau due à la lumière, comme c'est souvent le cas pour les peintures à l'huile. Mais leurs recherches ont montré qu'en réalité, la lumière n'avait pas d'impact significatif. Autrement dit, inutile de chercher à tamiser la lumière à proximité de l'œuvre pour préserver celle-ci. En revanche, les spécialistes se sont aperçus, grâce à des méthodes novatrices, que l'humidité était en cause. Pour cela, l'œuvre a été soumise à une source extrêmement puissante de rayons X à l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) de Grenoble. Cette méthode a permis d'aboutir à une analyse chimique des microfragments de peinture d'une précision inédite. À la manière d'un microscope géant, le synchrotron a ainsi

CONSERVATION

La lumière, l'autre ennemie des peintures

Pour être bien conservés au fil du temps, les tableaux doivent être exposés dans des conditions d'éclairage maîtrisées. En effet, les rayons ultraviolets ont la capacité de briser les liaisons moléculaires des pigments et dégradent ainsi les couleurs. Ce changement chimique, appelé photodégradation, fragilise les peintures. Outre la décoloration, la surface du tableau change et devient moins lisse. Les craquelures ou l'écaillement, sont, eux, plutôt dus à la chaleur et à l'humidité : quand l'eau s'évapore, la peinture sèche et se craquelle comme de la boue.

permis de dévoiler le mécanisme responsable de l'altération des pigments jaunes. Edvard Munch avait choisi le jaune de cadmium mais, sans le savoir, il aurait utilisé une peinture de mauvaise qualité. « *La peinture jaune était riche en composés chlorés et cela précisément aux endroits où la peinture est endommagée*, a expliqué Koen Janssens, de l'université d'Anvers, au *Guardian*. *Je ne pense pas que c'était une utilisation intentionnelle. Nous sommes en 1910 et à ce moment-là, l'industrie des pigments chimiques n'était pas aussi performante qu'aujourd'hui.* »

Le problème est que par la suite, la toile n'a pas été conservée dans des conditions optimales. « *Cette œuvre a rarement été montrée au public et est restée dans un espace privé où l'humidité atteignait 50 % à une température d'environ 18 °C* », explique Letizia Monico, chercheuse au CNR, à Rome. Cette humidité a permis aux composés chlorés d'oxyder le sulfure de cadmium — de couleur jaune — pour conduire à la formation de sulfate de cadmium, de couleur blanche. « *En regardant certaines parties du tableau au microscope, comme les nuages dans le ciel ou le cou du personnage principal, on voit qu'il existe encore des résidus du pigment jaune d'origine*, précise Letizia Monico. *Alors que les composés chimiques des parties blanches ne correspondent pas à de la peinture blanche d'origine.* »

Van Gogh ou Matisse touchés par le même mal

Parmi les autres versions du *Cri*, celle de 1893, appartenant à la Galerie nationale d'Oslo (Norvège), montre aussi une décoloration et des parties écaillées. Et Edvard Munch n'est pas le seul artiste à s'être fait piéger par la qualité de sa peinture. Découvert au début du XIXe siècle, le sulfure de cadmium avait également été choisi par Vincent Van Gogh ou encore Henri Matisse. Après avoir également analysé certaines de leurs toiles au synchrotron, tels les célèbres *Tournesols* de Van Gogh, les scientifiques ont constaté qu'elles souffrent des mêmes maux, produisant décoloration et écaillement. « *Aujourd'hui, forts de ces enseignements, nous nous interrogeons sur la façon d'adapter les conditions de conservation de nos œuvres* », explique Eva Storevik Tveit, conservatrice des peintures au musée Munch d'Oslo. Même si elle reconnaît que tout changement peut également avoir des conséquences sur les autres pièces des collections. ■

Coralie Lemke @CoralieLemke

VIRVOLT

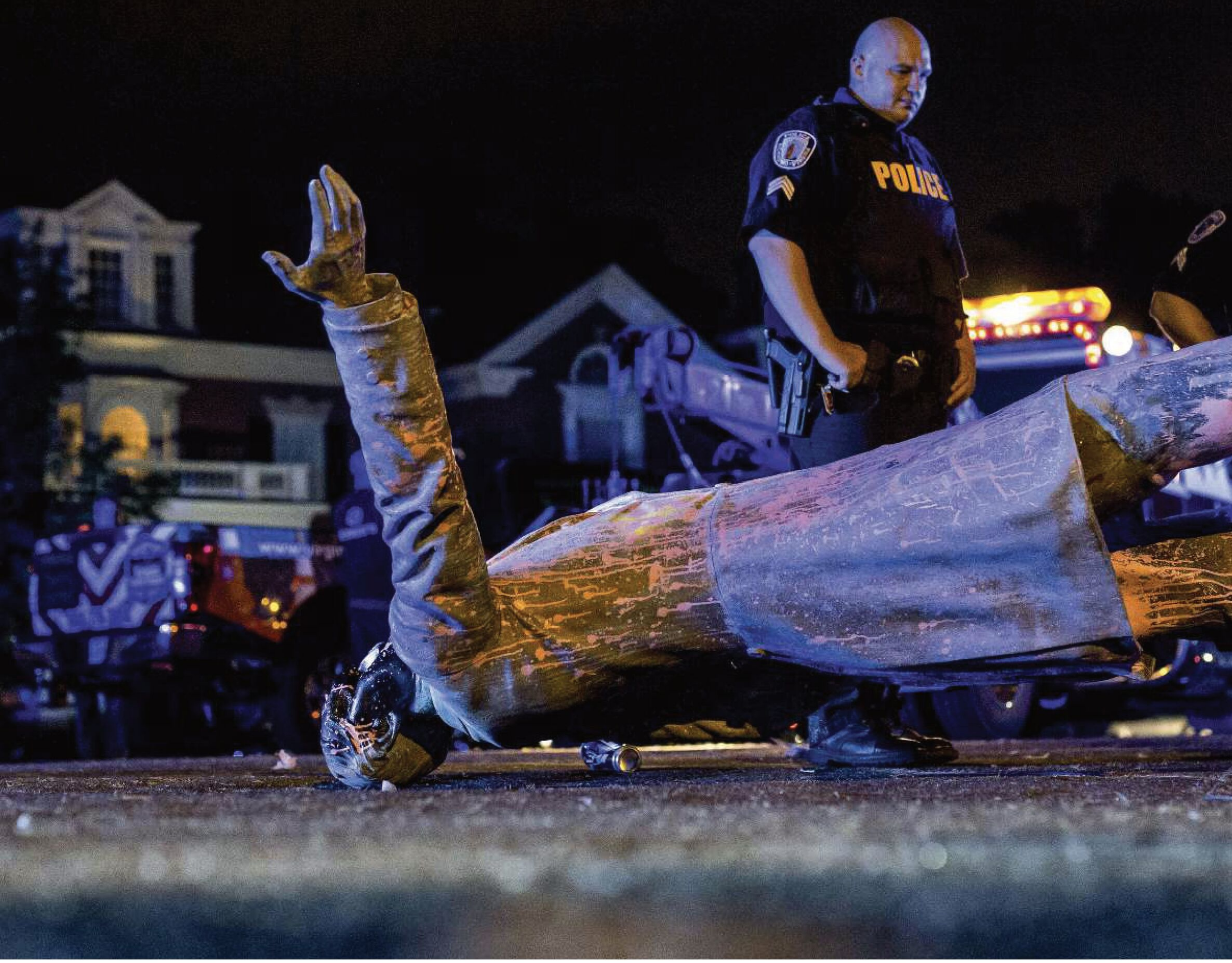
Passez à l'éléctrique

Transformer votre vélo en moins de 72 heures

Prime à l'achat jusqu'à 500 euros

Rendez vous sur www.virvolt.fr

@virvoltfamily



Statues déboulonnées : 5 chercheurs analysent les raisons de la colère

Les mises à bas de statues lors de manifestations contre le racisme se multiplient dans le monde. « Sciences et Avenir » a demandé à des historiens, des géographes et des anthropologues leur analyse sur ces mouvements de contestation qui prennent de l'ampleur.

PARKER MICHELS-BOYCE / AFP

Jefferson Davis, (1808-1889), dont l'effigie a été démontée à à Richmond, en Virginie, le 10 juin, était président des États confédérés esclavagistes pendant la guerre de Sécession.

LES MANIFESTATTIONS ABOUTISSANT au vandalisme de statues de personnages jugés insupportables pour racisme ou esclavagisme ont pris de l'ampleur après le meurtre de George Floyd aux États-Unis, en particulier au Royaume-Uni mais aussi en France. *Sciences et Avenir* a demandé à des historiens, géographes, anthropologues... ce que leur inspiraient ces mouvements de colère. Nous retenons ici des extraits de leurs réponses, dont nous les remercions, à lire *in extenso* sur notre site sciencesetavenir.fr

Propos recueillis par Bernadette Arnaud
@NarudaaArnaud

« IL FAUT DAVANTAGE DE STATUES DE PERSONNALITÉS NOIRES »

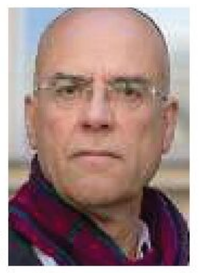
J. LALOUETTE

Jacqueline Lalouette
historienne, professeure émérite à l'université de Lille, membre honoraire de l'IUF*

« Les destructions de statues et de monuments rythment toute l'histoire des peuples et des civilisations. Elles traduisent l'état de fureur et de passion qui déchirent parfois les sociétés pour des motifs politiques ou religieux ou bien les haines qui montent les peuples les uns contre les autres. [...]
La destruction des deux statues martiniquaises de Victor Schœlcher, à Fort-de-France et à Schœlcher (cette dernière avait déjà été vandalisée en 2013), le 22 mai, a précédé de trois jours la mort de George Floyd. Cet épisode doit donc être déconnecté du mouvement *Black Lives Matter* et de ses effets sur la statuaire publique. [...] On aimerait savoir ce que les jeunes gens qui les ont abattues avec des débordements de joie sauvage connaissent vraiment de l'histoire de la Martinique, de l'esclavage et de Schœlcher. Il faut analyser l'évolution des valeurs humanistes et morales, expliquer que l'on ne juge pas une époque passée selon des critères qu'elle n'a pas partagés, progressivement élaborés au fil des décennies voire des siècles.
Il convient aussi de décortiquer les erreurs de la science du XIXe siècle qui a établi une hiérarchisation des races, laquelle a longtemps figuré dans les manuels scolaires. Tout cela n'est certes pas à la gloire de l'Occident, mais ce n'est pas la destruction de statues qui effacera les séquelles des erreurs commises. Il faudrait aussi que le rôle des peuples noirs eux-mêmes dans l'esclavage, par le biais des guerres inter-ethniques et des razzias, soit fortement affirmé et que les Afro-descendants admettent la responsabilité de personnes autres que les négriers blancs. Il y a donc à quitter le domaine des émotions et des passions pour celui de la raison, à expliquer, à enseigner et non à légiférer ou à prescrire, ce qui n'est d'ailleurs pas le rôle des historiens. [...] En ce qui concerne les statues liées à l'histoire de la colonisation et de l'esclavage, la réponse idéale me semble devoir être trouvée dans l'érection d'effigies d'hommes et de femmes noires ou métisses, esclaves ou non, ayant combattu pour la liberté, parfois au prix de leur vie. » ■

*Institut universitaire de France (IUF). Auteure d'*Un peuple de statues*, Mare & Martin, 2018.

« ÊTRE FRANÇAIS, C'EST AUSSI ÊTRE DESCENDANT D'ESCLAVES »



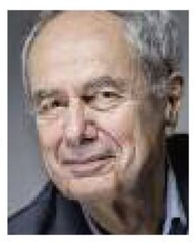
AFP

François-Xavier Fauvelle
professeur au Collège de France, titulaire de la chaire Histoire et archéologie de l'Afrique

« Je comprends aussi bien l'urgence qu'éprouvent certains à déboulonner une statue de personnage historique que le désir engendré chez d'autres de préserver la même statue du déboulonnement. Cette ambivalence est partagée par tout le monde. [...] Les statues de Schœlcher en Martinique sont [...] le fruit de commandes locales, qu'il faut apprécier localement. Représenter Schœlcher à Fort-de-France sous la forme du héros républicain accueillant dans son giron l'enfant qui a encore une chaîne ▶

au pied relève d'une propagande qui était socialement acceptable il y a un siècle, et qui aujourd'hui apparaît légitimement comme paternaliste. La statue de Fort-de-France ne célèbre pas seulement l'action politique de l'homme de la IIe République, mais aussi un certain rapport de domination qui s'est installé avec l'abolition. Il n'est pas anormal que cela soulève l'indignation, si cette indignation aspire à présenter dans l'espace public d'autres aspects de la réalité historique, par exemple la place des révoltes d'esclaves ou encore la longue histoire de la traite pratiquée par la France. Être Français, c'est aussi être descendant d'esclaves, et cette expérience-là mérite d'être davantage présente dans l'espace public. Que nous soyons sommés, dans l'inconfort du débat démocratique, de choisir si nous acceptons encore tel discours ou tel silence que véhicule une statue dans l'espace public, veut bien dire que "nous" existe, et que ce nous a besoin d'une galerie de personnages historiques qui le représente. » ■

« LES MUSÉES DOIVENT ABRITER LES OBJETS QU'ON NE VEUT PLUS DANS L'ESPACE PUBLIC »


O.ROLLER/DIVERGENCE

Jean-Paul Demoule
préhistorien, professeur émérite à l'université Paris-I Panthéon-Sorbonne *

« Le déboulonnage, la destruction ou la dégradation de statues liées à l'histoire de l'esclavage, des généraux sudistes au roi Léopold II de Belgique et jusqu'à Victor Schœlcher, viennent de replacer, dans le temps court de l'actualité, le débat sur l'iconoclasme, une pratique de tous les temps. Ainsi, il y a six mille ans environ, furent brisées du côté de Locmariaquer (Morbihan) des stèles cérémonielles gravées, représentant notamment des haches et des bovidés, et leurs morceaux furent réemployés dans des constructions funéraires.
[...] La plupart du temps, les destructions accompagnent des changements historiques radicaux, même éphémères, et veulent marquer des ruptures. Parmi les plus célèbres, celles de la Révolution française, pour lesquelles l'Abbé Grégoire créa en 1793 le terme de "vandalisme", en référence aux Vandales de l'Antiquité, censés avoir été peu recommandables (mais ce serait un autre débat).
[...] On peut distinguer trois aspects au débat [actuel, sur cette destruction des statues], l'un patrimonial, le second historique, et le dernier mémoriel. [...]
Patrimonial, car un archéologue ou un historien (voire un historien d'art) ne peut se réjouir de la destruction d'objets anciens, tous témoignages d'événements du passé — sans parler de leur aspect éventuellement décoratif, sinon esthétique. Il convient donc de mettre dans des musées les objets qu'on ne veut plus voir dans l'espace public ouvert. C'est ce qui est envisagé à Bristol pour la statue de bronze du marchand d'esclaves Edward Colston, du moins lorsqu'elle aura été repêchée dans le canal où les manifestants l'ont précipitée le 8 juin 2020.
[...] L'aspect historique est celui qui s'attache à l'histoire réelle du personnage, telle que peuvent l'établir aujourd'hui les historiens. [...] On crédite Victor Schœlcher de l'abolition de l'esclavage en 1848 — et François Mitterrand avait déposé une rose devant sa tombe au Panthéon, lors de sa théâtrale intronisation. Aimé Césaire lui a rendu tout autant hommage, mais ses statues viennent d'être dégradées par ceux qui rappellent que les propriétaires d'esclaves furent largement indemnisés (et les esclaves libérés laissés sans ressources et souvent affublés de noms de famille ridicules).
[...] Enfin, le dernier aspect est l'aspect mémoriel, c'est-à-dire la fonction de célébration qu'ont ces statues par rapport au récit national, à l'histoire que, à un moment donné du temps, une nation veut se donner à elle-même. [...] Il est frappant [...] qu'il n'y ait, parmi les milliers de statues de nos places et squares, que 7 % de femmes et seulement deux ouvriers. Et l'histoire de la colonisation française reste un sujet sensible et loin d'être apaisé. » ■

GIULIA SPADAFORA/NURPHOTO/AFP

Edward Colston (1636-1721) s'est enrichi dans le commerce des esclaves. Originaire de Bristol (Royaume-Uni), il fit ensuite œuvre de charité et de mécénat au profit de sa ville natale (ici, sa statue jetée dans le port de la cité le 7 juin).

* Membre honoraire IUF. Il est à l'origine de la création de l'Institut national de recherche archéologique préventive (Inrap). Auteur de *Mais où sont passés les Indo-Européens ? Le mythe d'origine de l'Occident,* Seuil, 2014.

RS

Christophe Colomb, (1451-1506) « découvreur de l'Amérique » est désormais souvent considéré comme une figure du génocide des Amérindiens (ici sa statue vandalisée en 2019 à Providence, Rhode Island, États-Unis). ►

MICHELLE R. SMITH/AP/SIPA

RS

Victor Schœlcher (1804-1893), homme politique français, a fait adopter le décret sur l'abolition de l'esclavage dans les colonies en 1848 (ici, la statue brisée à Fort-de-France le 22 mai).

« CONTEXTUALISER ET NON EFFACER »

O. ROLLER/DIVERGENCE

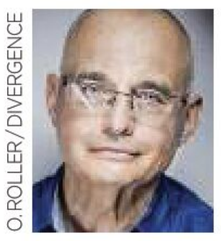
Christian Grataloup
Géohistorien, professeur émérite à l'université Paris-Diderot *

« La colère qui aboutit au renversement d'une statue est d'aujourd'hui. Ce ne sont pas les comptes du passé qui sont réglés, mais des souffrances bien contemporaines qui s'expriment. S'attaquer à la mémoire des traites négrières et de leurs acteurs hurle la blessure constamment rouverte du racisme subi au quotidien. Mais en tentant de changer la mise en scène du passé, c'est la mémoire qui risque de disparaître, pas le racisme présent qui n'a nul besoin de profondeur historique.

De fait, tous les historiens et autres spécialistes de sciences sociales ne cessent de dire qu'il faut avant tout contextualiser et non effacer. Bien sûr, je ne peux y manquer. Mais je me contenterai d'un seul critère de mise en situation : éviter de réduire une personne et sa statue à une symbolique marginale dans ce qu'elles peuvent représenter. [...] [Considérons] la figure du roman national la plus honnie aujourd'hui : Jean-Baptiste Colbert. On peut le détester pour les mêmes raisons qui ont fait réinventer son personnage par la IIIe République : le fait qu'il soit un maillon essentiel dans la chaîne des bâtisseurs de l'État central. [...] Le colbertisme n'a que marginalement à voir avec le Code noir dont la haine dont il est l'objet témoigne d'abord d'une totale décontextualisation. [...] Sacrifier la statue qui trône devant l'Assemblée nationale (d'ailleurs une copie) n'aurait pas grand sens [...]. ■

* auteur de l'*Atlas historique mondial* (Les Arènes/L'Histoire, 2020).

« INSÉRER LES HISTOIRES NATIONALES DANS UNE HISTOIRE GLOBALE »



O. ROLLER/DIVERGENCE

Serge Gruzinski,
Directeur de recherche émérite du CNRS et directeur d'études à l'EHESS *

« Je me contenterai de deux commentaires. Une société élève des statues pour honorer ses héros et entretenir la mémoire d'événements qui l'exaltent. Plus exactement ce sont ses élites intellectuelles et politiques qui dans des circonstances données effectuent ce tri et retiennent les figures canonisables. Pour cette raison les héros des uns ne sont pas les héros des autres [...] Le panthéon français a été sélectionné et monté dans le contexte d'une France qui n'existe plus aujourd'hui. [...] Mon second commentaire porte sur ce qu'on entend par histoire et par passé. On peut le regretter, l'histoire fondée sur l'idée d'une évolution unilinéaire commune [...] qui détiendrait la vérité sur les hommes et leurs destins n'est pas une catégorie universelle. [...] Vivre dans un monde globalisé demande un enseignement de l'histoire attentif à la planète qui nous entoure [...]. Il doit obligatoirement insérer les histoires nationales dans une histoire globale qui nous arrache à un eurocentrisme et à un ethnocentrisme partout encore écrasants. » ■

* Commissaire de l'exposition Planète métisse au musée du Quai-Branly, à Paris, en 2004.

FACTUM FONDATION

Les monolithes sont souvent difficiles d'accès, au cœur d'une végétation dense, comme ici sur le site de Nkrigom, où les habitants d'Alok, un village proche, sont venus prêter main-forte aux archéologues pour redresser cette stèle longtemps laissée à l'abandon.

Le sauvetage numérique des stèles akwanshis du Nigeria

Plus de 250 pierres taillées, datant sans doute du début de notre ère, constituent un patrimoine exceptionnel menacé. Elles font l'objet d'examens avec des technologies de pointe pour comprendre leur signification symbolique et, surtout, assurer leur conservation.

BRUNO BOURGEOIS

DE FORME PHALLIQUE, leur aspect évoque des personnages aux bras accolés, les mains parfois croisées sur le ventre, portant des marques décoratives, voire des scarifications. Ces monolithes, taillés majoritairement dans les basaltes, plus rarement dans des calcaires, composent un paysage mégalithique unique dans le sud-est du Nigeria, inscrit depuis 2008 sur la liste indicative des sites du patrimoine mondial de l'Unesco. Hautes de 1 à 2 mètres, leur base profondément enfouie dans le sol, ces stèles sont nommées *akwanshi* par les Nta, *atal* (pierres longues) par les Abanyom, ou encore *du bakor* par d'autres communautés locales. Autant d'appellations qui signifient « mort dans la terre » pour les uns ou « pierres du génie » pour les autres. Ce trésor, encore méconnu en Occident, devait faire l'objet en novembre d'une exposition très attendue au British Museum, à Londres (Royaume-Uni), laquelle a été reportée en raison de la pandémie de Covid-19. Devait aussi être présenté un vaste programme inédit de numérisation qui, lui, n'a pas été interrompu. Il est mené par le Britannique Ferdinand Saumarez Smith, conservateur à la Fondation Factum Arte, basée à Madrid (Espagne), en partenariat avec le Trust for African

FACTUM FONDATION

La photogrammétrie permet de créer des « doubles » des originaux en 3D (à gauche) afin d'en conserver une trace. 250 de ces pierres phalliques, hautes de 1 à 2 m, dont la signification symbolique reste mystérieuse, ont été retrouvées à ce jour (ici l'une d'elles provenant du site de Njemetop).

FACTUM FONDATION

Rock Art (TARA) et l'université de Calabar (Unical), la capitale de l'État nigérian de Cross River. La fondation, qui a notamment réalisé le fac-similé du tombeau de Toutankhamon dans la Vallée des Rois en Égypte *(lire S. et A. n° 807, mai 2014)*, est en effet spécialisée dans l'application des technologies de pointe à la conservation du patrimoine historique menacé.

Ferdinand Saumarez Smith se souvient encore de sa première visite à Nkrigom, en 2016, pour découvrir quelques-unes de ces stèles. *« Le site forestier où se dressent les pierres appartient à un clan appelé Nnam. Il est très difficile d'accès. Nous avons notamment été contraints de franchir une rivière à la nage ! »* Accompagné des habitants du village d'Alok, le conservateur a dû ouvrir un chemin à la machette dans d'épais sous-bois, avant de voir enfin surgir les premiers monolithes. *« C'était fascinant et émouvant. Toutes les stèles étaient recouvertes de mousse, ce qui leur conférait un aspect envoûtant »*, poursuit l'expert, qui retourne depuis régulièrement sur les lieux. Les questions concernant ces pierres taillées sont en effet nombreuses. À commencer par leur âge. *« Leur ancienneté fait l'objet de spéculations depuis les rares études qui en ont été faites dans les années 1960 à 1980 »*, commente le Français Gérard Chouin, depuis le College of William and Mary, à Williamsburg en Virginie (États-Unis), où il enseigne. Spécialiste d'archéologie africaine, il sait que peu d'experts connaissent ces pierres dressées : *« Hormis les travaux de Philip Allison à l'orée des années 1960, dont toutes les archives sont conservées à la bibliothèque Bodleian d'Oxford (Royaume-Uni), il existe peu d'informations scientifiques sur ces œuvres. »* Les archéologues nigérians Ekpo Eyo (décédé en 2011) — célèbre pour ses fouilles de la région d'Ilé-Ifé en pays yoruba (Nigeria) — et Abu S. Edet sont en effet, à ce jour, les seuls scientifiques à avoir tenté de les dater.

Les sites mégalithiques localisés par GPS

« En fixer l'âge est complexe, d'autant qu'elles se trouvent souvent dans des contextes perturbés. Elles ont aussi souvent été déplacées au cours du temps, précise Gérard Chouin. *Leur origine vraisemblable remonte aux environs de la première moitié du I^er^ millénaire de notre ère, vers 200-300 après J.-C. ».* Quant à leur signification symbolique, elle reste encore bien mystérieuse. Ces stèles, auxquelles certaines populations locales ont longtemps attribué une origine surnaturelle, pourraient représenter des ancêtres ou des figures royales, sans qu'il soit possible d'en dire davantage.

C'est en raison de cette faible quantité de données et de la fragilité de ces trésors du patrimoine que la société Factum Arte s'est impliquée dans ces nouvelles études. Différents travaux ont ainsi été engagés à travers le pays pour procéder à la localisa-

tion GPS de l'ensemble des sites mégalithiques épars et procéder à leur enregistrement photogrammétrique en 3D. Des doubles numériques destinés à en assurer la survie dans les archives. 250 stèles ont ainsi été répertoriées à ce jour, sur les 300 décrites dans les années 1960. « *À ce stade, nous avons déjà référencé une trentaine de sites* », explique Ferdinand Saumarez Smith. Leur état de conservation varie selon les lieux. Les stèles akwanshis font l'objet de plusieurs types de menaces : les pratiques agricoles conduisent à leur destruction progressive ou à leur fissuration en raison de la chaleur des feux de brûlis déclenchés pour défricher les forêts. Elles sont aussi parfois déplacées par les populations locales, pour les mettre à l'abri, mais ces transferts rendent impossible l'étude de leur agencement original. Les monolithes étaient-ils regroupés ? En cercle ? Isolés ?

Certaines se sont retrouvées dans des grands musées

Toutefois, le plus grand danger demeure le vol. « *Du fait de leur grande beauté, par le passé, nombre de ces pierres sculptées ont été emportées et transférées en contrebande au Cameroun voisin ou au Togo, d'où elles sont ensuite entrées sur le marché international des antiquités, sans doute adoubées de certificats de sortie en bonne et due forme…* », poursuit le Britannique. Les stèles étaient en outre sciées pour être plus facilement transportées. Achetées par des antiquaires et collectionneurs qui approvisionnaient le marché occidental, elles ont pu ensuite se retrouver dans des musées de grandes métropoles, des galeries, ou chez des collectionneurs privés. C'est sans doute de cette façon que l'une d'entre elles, rachetée à une galerie new-yorkaise en 1985, est parvenue au Metropolitan Museum of Art de New York (États-Unis) qui l'expose aujourd'hui. Ce musée n'étant pas le seul à en posséder à travers le monde. « *Ces stèles ont parfois été acquises en toute bonne foi auprès de marchands peu scrupuleux,* confie le conservateur de Factum Arte. *En nous appuyant sur les archives et un livre de Philip Allison publié en 1969, lesquels recensaient les stèles sculptées d'Afrique, nous avons pu retrouver l'emplacement d'origine de certains monolithes photographiés en 1961-1962. Ce qui permet de dire que le trafic est postérieur à ces dates.* » En particulier après la guerre civile meurtrière du Biafra, aux conséquences économiques dramatiques, qui s'est déroulée au Nigeria entre 1967 et 1970. « *Les pillages ont été si importants que les monolithes akwanshis ont depuis été placés sur la liste rouge des biens culturels ouest-africains en péril, dressée par le Conseil international des musées (ICOM)* », précise l'expert. Désormais sensibilisées à la protection de ce patrimoine, les populations du Nigeria participent à leur préservation. ■

Bernadette Arnaud
@NarudaaArnaud

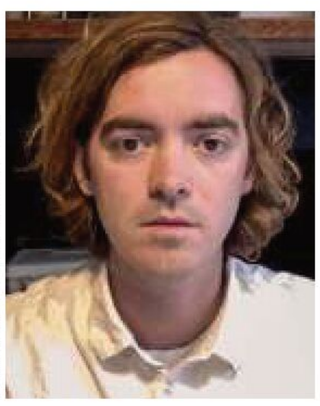
MICHAEL RUNKEL/ROBERT HARDING HERITAGE/AFP

L'alignement de Tiya, en Éthiopie, est inscrit au patrimoine mondial de l'Unesco.

RITES

Les autres mégalithes du continent africain

L'Afrique de l'Ouest recèle d'autres monolithes, notamment au Cameroun, voisin du Nigeria, où d'importantes concentrations de pierres dressées ont été répertoriées dans la région de Nkambé, dans les monts Mandara, dans la haute vallée de la Bénoué ou encore au Faro. Elles participent d'une culture bien vivante et donnent encore lieu, parfois, à des activités rituelles.
De même au centre du Sénégal et en Gambie ou encore en Éthiopie, avec les stèles funéraires de forme phallique dites *soddos*. Celles-ci se distinguent d'un autre abondant mégalithisme au sud de ce pays, avec les champs de stèles de Tiya, classés au patrimoine mondial de l'Unesco.



FERDINAND SAUMAREZ SMITH

« Les pillages ont été si importants que les monolithes akwanshis ont été placés sur la liste rouge des biens culturels ouest-africains en péril »

Ferdinand Saumarez Smith, conservateur à la Fondation Factum Arte, basée à Madrid (Espagne)

L'ADN des manuscrits de la mer Morte a parlé

Le séquençage génétique de 26 morceaux de parchemins montre qu'ils sont issus d'ovins et de bovins, et n'ont pas tous été fabriqués dans la région où ils ont été trouvés.

DEUX ÉTUDES, PARUES COUP SUR COUP, viennent de faire parler des fragments des célèbres rouleaux de la mer Morte. Ces milliers de lambeaux de manuscrits ont été découverts entre 1947 et 1956, dans onze grottes situées à Khirbet Qumran, au sud de Jéricho (Cisjordanie). Un trésor archéologique, philologique et linguistique constitué de textes rédigés en hébreu, en araméen et en grec, parmi lesquels de nombreux textes du Tanakh, la Bible hébraïque. Mais aussi un puzzle géant de 40 000 brisures jaunies dont il a fallu trier et assembler les morceaux pour les attribuer aux différents rouleaux.

Depuis un demi-siècle, l'étude de ces écrits mobilise de nombreux chercheurs. Récemment, pour accélérer ce travail sur les parchemins (il existe aussi des textes sur papyrus et un rouleau de cuivre), des scientifiques ont eu l'idée de faire appel à l'analyse ADN des supports en cuir. Ainsi, une équipe de biologistes moléculaires de l'université de Tel Aviv (Israël) et des chercheurs suédois sont parvenus à identifier l'ADN animal de 26 bouts de manuscrits, comme le relate un article de la revue *Cell*. Ces experts ont pu déterminer que deux fragments du *Livre de Jérémie* (Ancien Testament) étaient rédigés sur de la peau de vache et que les autres l'étaient sur du mouton. Qui plus est, les ovins ayant fourni ces peaux étaient étroitement apparentés, suggérant qu'elles avaient été traitées au même endroit. Une surprise car la plupart des spécialistes pensaient que les parchemins avaient été fabriqués à partir de peaux de chèvre. Celui en peau de vache a probablement été préparé ailleurs qu'à Qumran. En effet, située dans le désert de Judée, la région des célèbres grottes n'était pas propice à l'élevage de bovins.

Le travail d'assemblage pourrait en être facilité

Pour Ira Rabin, spécialiste des manuscrits de la mer Morte à l'Institut fédéral de recherche et d'essai sur les matériaux, à Berlin (Allemagne), c'est une confirmation que certains parchemins ne provenaient pas de Qumran. Les scientifiques estiment que cette nouvelle approche pourrait faciliter le travail d'assemblage des fragments d'un même parchemin. Car si la majorité des rouleaux sont aujourd'hui pratiquement complets, 25 000 fragments restent à assembler.

Si le séquençage ADN renseigne sur la matière et son origine, il ne livre en revanche aucune information sur les lieux où les rouleaux ont été écrits. Mais une autre découverte simultanée laisse présager de futurs résultats. Des chercheurs britanniques de l'université de Manchester (Royaume-Uni) ont soumis des fragments de manuscrits de Qumran conservés par les archives Reed de la bibliothèque John Rylands à une technique d'imagerie multispectrale. Nouvelle surprise : apparemment vierges, ces petits morceaux rabougris comportaient en fait du texte hébreu et araméen ! Reste maintenant à le déchiffrer. ■ **Bernadette Arnaud**

@NarudaaArnaud

MENAHEM KAHANA - AFP

Les analyses génomiques ont montré que certains lambeaux de parchemin étaient en peau de vache, notamment deux fragments du « Livre de Jérémie ».

Cinq pistes pour faire renaître les océans

Une étude internationale souligne la formidable capacité de « résilience » des mers et océans et conclut que la vie marine pourrait être restaurée d'ici à 2050. Exemples à suivre.

Par Sylvie Rouat @srouat1

FABRICE GUÉRIN/ BIOSPHOTO

« NOUS SOMMES AUJOURD'HUI *à un point de bascule, où nous pouvons choisir de laisser en héritage aux générations futures un océan en bonne santé ou irréversiblement épuisé* », avertit Jean-Pierre Gattuso, chercheur au Laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes) et signataire d'une étude parue dans *Nature*, qui fait une démonstration réjouissante : la vie marine peut être restaurée d'ici à 2050. Certes, l'état des océans s'est largement dégradé au cours du XXe siècle et du début du XXIe siècle. Un tiers des stocks de poissons est victime de la surpêche, entre le tiers et la moitié des habitats marins vulnérables ont été perdus, les récifs coralliens souffrent du réchauffement de l'eau, des espèces migrent pour tenter de trouver des zones plus clémentes, les déserts marins s'étendent, etc. Le bilan est sévère. Mais cette étude baptisée « Reconstruire la vie marine » (*Rebuilding Marine Life*), qui a réuni des scientifiques de 16 universités de 10 pays, veut dépasser ces constats catastrophiques pour montrer les possibilités de « résilience » de l'océan en recensant les renversements de tendance de par le monde. En voici quelques exemples, qui sont autant de pistes à développer à grande échelle.

2 %
La part du PIB brut mondial représentée par les océans aujourd'hui.

30 à 50 %
des habitats marins vulnérables ont d'ores et déjà été perdus.

30 %
au moins des stocks de poissons victimes de la surpêche.

8 millions de tonnes
de déchets de plastique rejetées chaque année dans les océans.

100 000 mammifères marins
victimes de ces déchets chaque année.

1 Les baleines à bosse, un trésor estimé à mille milliards de dollars

« *Le nombre de baleines à bosse migrant de l'Antarctique vers la côte est de l'Australie a augmenté de 10 à 13 % par an, passant de quelques centaines de spécimens en 1968 à plus de 40 000 actuellement* », notent les auteurs de l'étude. Une analyse récente a montré que ces mammifères, capables de sauts spectaculaires, ont retrouvé leurs effectifs d'il y a 190 ans. En 1830, quelque 27 000 baleines à bosse sillonnaient les mers du globe. Si la chasse s'est étendue à tous les océans au XVIIIe siècle, elle s'est intensifiée dès la fin du XIXe siècle, avec l'introduction du harpon explosif, amorçant un déclin dramatique de ces cétacés. Au XXe siècle, plus de 90 % d'entre elles ont été exterminées. En 1966, lorsque a été décidé d'instaurer un moratoire sur la chasse — puis une interdiction vingt ans plus tard — celle-ci n'était déjà plus rentable, l'espèce ayant presque disparu. Ces mesures draconiennes ont donc permis aux populations de se reconstituer, même si elles sont aujourd'hui confrontées à une multitude de menaces d'origine humaine : pollutions sonore, chimique et plastique, collisions avec les navires, blocage dans les filets de pêche, etc. En 2019, le Fonds monétaire international

Victimes d'une chasse intense jusqu'en 1966, les baleines à bosse, qui étaient alors au bord de l'extinction, ont retrouvé leurs effectifs de 1830.

(FMI) a estimé la valeur économique d'une seule baleine à 2 millions de dollars ! Soit une valeur supérieure à 1000 milliards de dollars pour la population actuelle. Les économistes du FMI ont en effet calculé que chaque cétacé stocke environ 33 tonnes de CO_2, piégées pour des siècles dans les profondeurs océaniques lorsqu'il meurt. Enfin, souligne Jérôme Spitz, de l'observatoire Pelagis à l'université de La Rochelle, *« leur production de matières fécales serait cruciale pour le recyclage et le transport des nutriments indispensables à la fertilisation du milieu marin. Et notamment au phytoplancton, producteur primaire à la base de toutes les chaînes alimentaires des océans et puits majeur de CO_2. »* Les baleines à bosse et autres sont donc essentielles dans la lutte contre le réchauffement climatique.

2 La résurgence des mangroves du delta du Mékong

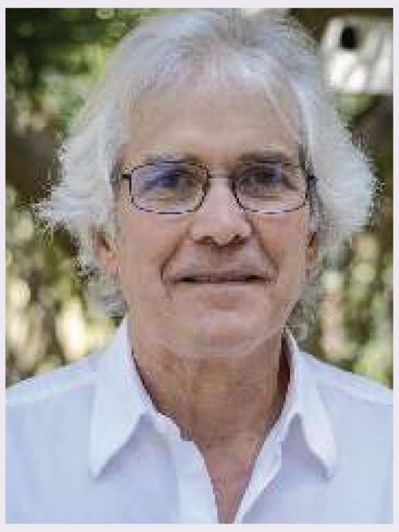
Les mangroves forment un écosystème florissant pour les espèces marines, terrestres et aviaires dans les zones tropicales et subtropicales. Las ! 40 % d'entre elles ont disparu depuis 1960. Celles du Viêt Nam ont ainsi longtemps été exploitées par les communautés côtières du delta du Mékong, leur fournissant nourriture, bois d'œuvre et de chauffage. Durant la guerre du Viêt Nam, elles ont abrité des bases du Front national de libération du Sud-Viêt Nam, ce qui a amené les forces américaines et du régime de Saïgon à déverser des tonnes d'herbicides et de défoliants sur plus de 100 000 hectares. *« Le sol forestier a été chimiquement modifié en raison de la disparition du couvert végétal qui le protégeait, le pH de l'eau douce, en quantité insuffisante en saison sèche, a baissé,*

INTERVIEW

JEAN-PIERRE GATTUSO

CHERCHEUR AU LABORATOIRE D'OCÉANOGRAPHIE DE VILLEFRANCHE-SUR-MER (ALPES-MARITIMES)

« Il faut multiplier les aires marines protégées »


JEAN-PIERRE GATTUSO

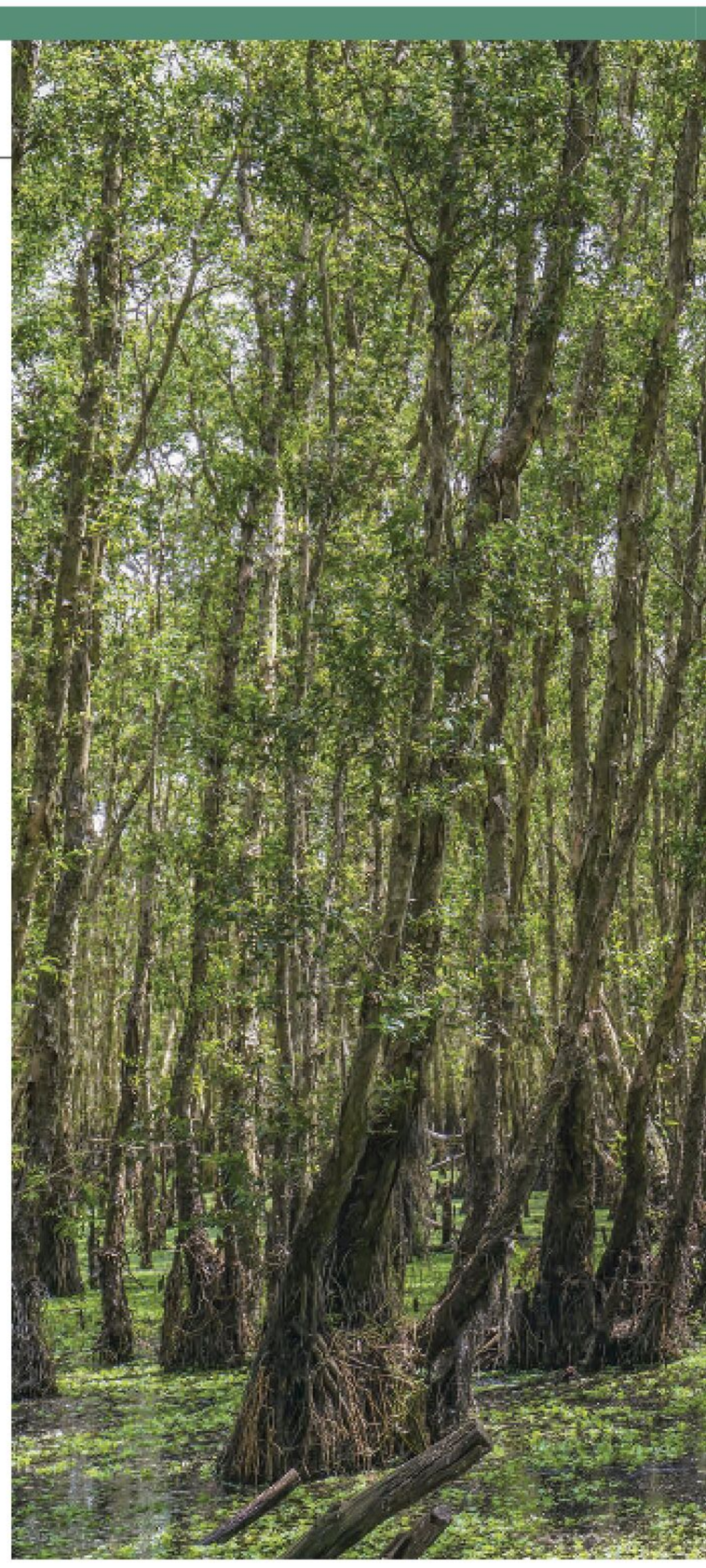
2050 est-il un horizon réaliste de restauration de la vie marine ?
Oui, c'est un objectif de réhabilitation de 50 à 90 % de l'état antérieur atteignable à l'échelle d'une génération. En réalité, tout dépend des espèces et des habitats. Il faut moins d'une décennie pour restaurer des récifs d'huîtres contre plusieurs décennies pour les herbiers marins. Les coraux et les éponges des grands fonds peuvent mettre de trente ans à plus d'un siècle pour récupérer après un chalutage ou des marées noires. Il faut quelques décennies aux oiseaux de mer pour se rétablir, mais plus de cent ans pour les grandes baleines et les tortues marines.

Qu'en est-il pour les récifs coralliens ?
Leur reconstruction présente, hélas, le risque d'échec le plus élevé. Toutes les actions de protection et de culture sont et seront peine perdue si on ne limite pas le réchauffement des océans, qui va produire des épisodes de blanchissement de plus en plus intenses et fréquents. Le changement climatique est un enjeu majeur.

Quelle serait la solution pour protéger massivement les océans ?
L'aire marine protégée (AMP), véritable oasis de biodiversité ! Seuls 7,4 % de la superficie de l'océan sont protégés aujourd'hui, mais la croissance des AMP devrait permettre d'atteindre une superficie de 50 % d'ici à 2050. Cela a un coût : 10 à 20 milliards de dollars. Mais pour chaque dollar investi, on en récupère dix et, au total, on crée plus d'un million de nouveaux emplois !

Propos recueillis par S. R.

alors que la salinité a augmenté sous l'effet d'une évaporation accrue. Privées de la protection des mangroves contre les marées, les vagues et les courants aquatiques, de nombreuses côtes et rives fluviales ont été gravement érodées », décrit Phan Nguyen Hong, universitaire vietnamien qui a participé à leur restauration.
Dès la fin des années 1970, les autorités vietnamiennes ont lancé un grand programme de reboisement. Résultat : quelque 1500 km² de mangroves ont été sauvés, sans doute la restauration d'habitat marin la plus importante à ce jour. « *La structure des "communautés" de mangroves est désormais plus diversifiée qu'avant la guerre*, souligne Phan Nguyen Hong. *Cela est en partie dû au fait que les essences replantées se sont mélangées à celles issues de la régénération naturelle.* » Les forêts de palétuviers de Can Gio sont désormais reconnues par l'Unesco comme réserve de biosphère.



3 Le thon rouge en phase de reconstitution

Le dernier bilan de l'Ifremer est inquiétant : les stocks de cabillaud et de merlan s'effondrent en mer du Nord et en mer Celtique. En cause, la surpêche et le réchauffement des eaux océaniques. Parallèlement, la taille des sardines et anchois pêchés a diminué de 3 à 4 cm, la nourriture des poissons s'appauvrissant. Mais l'institut de recherche souligne que les stocks de thon rouge en Atlantique et en Méditerranée sont en bonne phase de reconstitution, et ce grâce à des mesures fortes. Parce qu'il vient se reproduire à date fixe dans des lieux précis de la Méditerranée, le thon est une proie facile. Dans les années 1990, le développement des thoniers-senneurs — qui déploient des sennes de plus de deux kilomètres de long pouvant capturer 1000 tonnes de poissons en une seule fois — a signé la fin de la pêche artisanale et entraîné l'effondrement de 80 % des stocks en Atlantique et Méditerranée.
En 2006, sous l'impulsion de la principauté de Monaco, un sanctuaire a été créé dans les eaux des îles Baléares, l'un de ses espaces de reproduction. La principauté a également agi pour faire interdire tout commerce du thon rouge à l'échelle internationale. Elle s'est ainsi opposée au puissant lobby des Japonais, plus grands consommateurs au monde, et a réussi à mobiliser l'opinion publique. Avec des ONG environnementales, elle a imposé le respect des quotas de pêche recommandés par les scientifiques, soit 13 500 tonnes par an contre 50 000 tonnes en moyenne pour la période 1998-2007. Toutes ces actions ont permis de sauver l'espèce. Un modèle pour en préserver d'autres.

GETTY IMAGES

Un vaste programme de reboisement, commencé il y a 40 ans, a permis de restaurer 1500 km² de mangroves du sud du Viêt Nam, ravagées par le déversement de tonnes d'herbicides et de défoliants durant la guerre.

4 Les mollusques sauvés de l'« antifouling »

Pour protéger la carène des bateaux et les infrastructures immergées d'une colonisation par les organismes marins, les laboratoires chimiques ont mis au point dans les années 1960 des peintures antisalissure (*antifouling*) contenant du tributylétain (TBT). Or les composés organiques de l'étain qu'elles contiennent sont très toxiques pour les végétaux, le plancton et les mollusques, même à des doses infinitésimales. En outre, ce sont des perturbateurs endocriniens qui peuvent induire la masculinisation des femelles de gastéropodes tels que le bigorneau blanc (*Nucella lapillus*). La reproduction devenue impossible, le déclin de l'espèce était inéluctable. Mais l'interdiction totale du TBT en 2008 a réduit rapidement ce phénomène, sauvant le mollusque devenu depuis une espèce sentinelle, utilisée en France comme bio-indicateur de la bonne santé des environnements marins. *« De manière générale, la diminution de la pression humaine quelle qu'elle soit entraîne une amélioration de la santé des écosystèmes. Après la chute des régimes communistes, la réduction brutale des apports d'engrais a ainsi permis d'améliorer l'état de santé de la mer Noire et de la mer Adriatique,* rappelle Jean-Pierre Gattuso. *De même, la transition vers l'essence sans plomb depuis les années 1980 a réduit les concentrations de ce métal toxique dans les océans. »*

ALEXIS ROSENFELD / DIVERGENCE

Essentiels aux équilibres littoraux, les herbiers marins (ici des posidonies) abritent de nombreuses espèces qui s'y reproduisent.

5 Les herbiers marins retrouvent des couleurs

Prairies océaniques composées de plantes à fleurs, les herbiers marins se retrouvent dans la plupart des eaux côtières du globe. Ils offrent un habitat et un espace de reproduction à de nombreuses espèces, fixent les fonds marins, filtrent l'eau, etc. Essentiels aux équilibres littoraux, ils sont vulnérables aux pressions anthropiques et font face à une crise mondiale : près d'un tiers ont été détruits. En cause : les aménagements portuaires, la pollution, le chalutage et le mouillage des bateaux. Lorsqu'un navire de 50 mètres jette l'ancre dans un herbier, ce dernier voit sa surface réduite de 1500 m² environ. Or ces plantes ont une croissance très lente. Aussi des essais de transplantations ont-ils été entrepris dès 1947 aux États-Unis pour restaurer les herbiers dégradés. En France, de nombreuses actions sont menées en Atlantique et Méditerranée où pousse une plante endémique, la posidonie. L'été dernier, des plongeurs ont ainsi replanté 16 000 faisceaux de posidonies sur 150 m², dans le cadre du projet REPIC, dans le golfe Juan, dans une zone interdite à la navigation. Ils feront l'objet d'un suivi scientifique jusqu'en 2024. Le programme prévoit d'en replanter 1000 m² d'ici à 2022. Reconstituer ces herbiers est une priorité lorsque l'on sait qu'ils stockent 10 % du CO_2 piégé par les océans alors qu'ils ne couvrent que 0,2 % de leur surface... ■

Le chocolat veut redorer sa fève

Comme pour le vin ou le café, les professionnels du chocolat souhaitent parvenir à distinguer les variétés et mettre en valeur les terroirs afin de répondre à une demande de plus en plus forte des consommateurs. Des systèmes de traçage du produit sont en développement.

Les fèves de cacao sont très sensibles à la météo, au terroir, au traitement subi après récolte et aux méthodes de culture, qui sont rarement codifiées.

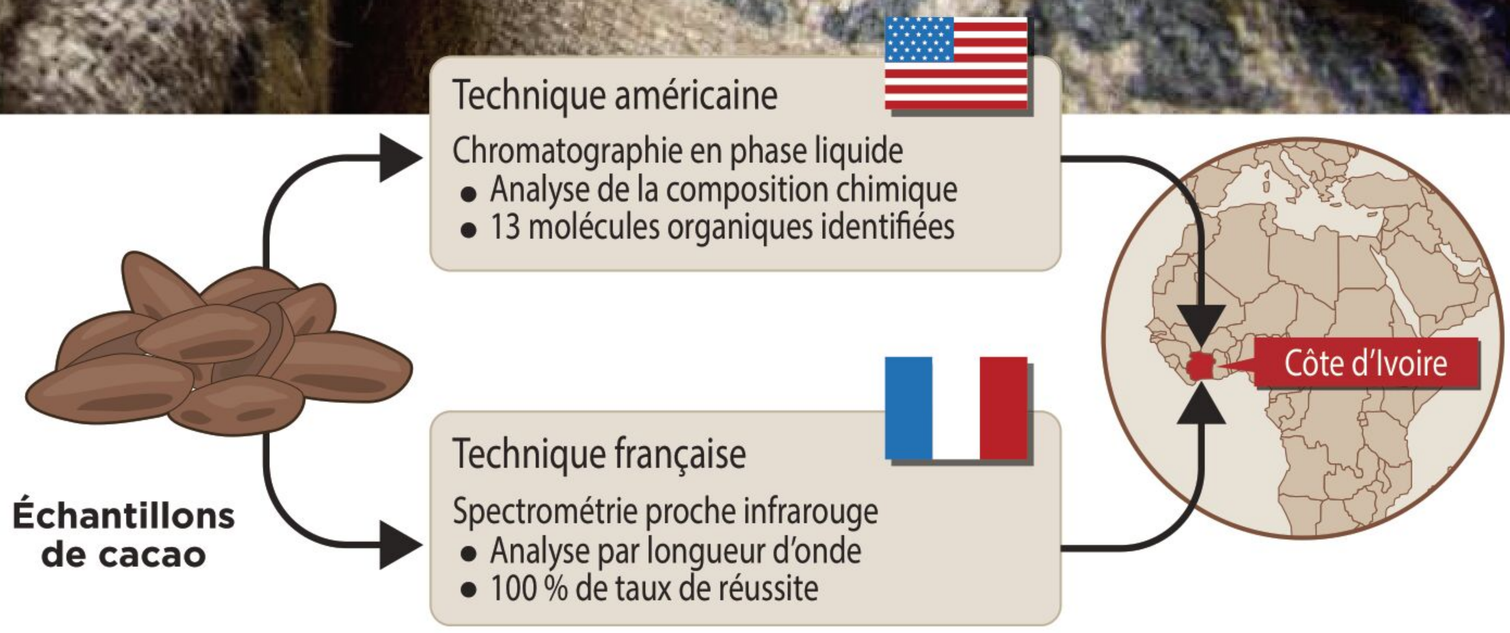
Le divin breuvage des Aztèques qui surprit tant les conquistadors espagnols au XVIe siècle, cherche à retrouver ses lettres de noblesse. Le chocolat des barres et tablettes industrielles des distributeurs automatiques et rayons des supermarchés, au goût formaté, ne satisfait plus. Des décennies après le vin, trente ans après le café, les professionnels de la cabosse veulent parvenir à distinguer les variétés, mettre en valeur les terroirs et honorer les meilleurs planteurs pour répondre à une demande de plus en plus forte des consommateurs attentifs aux considérations éthiques et à la montée en gamme. Ainsi, sur 4,85 millions de tonnes de fèves de cacao produites en 2019 dans le monde — pour 72 milliards d'euros de chiffre d'affaires — 20 % ont été orientées vers les filières des chocolats fins ou de spécialités vantant les « grands crus » en provenance des 60 pays producteurs de cacao.

Et c'est dans ce contexte qu'une avancée majeure a été annoncée ce printemps. Shannon Stitzel et son doctorant Gabrielle Lembo, de l'université de Towson dans le Maryland (États-Unis), ont affirmé lors du congrès de l'American Chemical Society (ACS) avoir trouvé le moyen de tracer le pays d'origine de n'importe quelle liqueur de cacao, cette pâte issue de l'étape cruciale de la torréfaction. De quoi révolutionner un secteur où, actuellement, les fèves sont torréfiées et transformées en chocolat dans les pays acheteurs sans que l'on puisse « remonter » jusqu'aux petits producteurs où elles ont été « écabossées », fermentées et séchées. « *Il n'y a pas actuellement de système fiable de traçage du produit. Les industriels du chocolat s'étaient jusqu'alors toujours désintéressés de la matière première en laissant aux négociants le soin de l'acheter sur les marchés locaux* », explique Pierre Costet, chargé de projets à la chocolaterie Valrhona de Tain-l'Hermitage (Drôme).

Garantir une origine pour créer un label

Les chercheurs américains ont recueilli auprès des industriels des échantillons de liqueur de cacao venus du monde entier. Ils les ont soumis à une double analyse par chromatographie en phase liquide puis par spectrométrie de masse, cela afin de déterminer la composition de 13 molécules organiques sur les 600 qui composent la flaveur du chocolat, dont les plus importantes sont la théobromine, la caféine et la catéchine. Bingo ! la technique permet de distinguer dans 95 % des cas une liqueur composée de fèves originaires d'Équateur d'une autre venue de Côte d'Ivoire, par exemple. Un beau résultat car la composition chimique du cacao varie énormément. Les fèves sont en effet très sensibles à la météo, au terroir, au traitement d'après récolte et aux méthodes de culture, rarement codifiées, des 5 à 6 millions de petits producteurs qui vivent péniblement de leur travail. Avec cette découverte, les industriels espèrent avoir à disposition un moyen de garantir une origine pour disposer bientôt d'un label. Ce résultat n'est pas le seul à

NATIONAL GEOGRAPHIC IMAGE COLLECTION



révolutionner potentiellement le secteur. Renaud Boulanger, chercheur au Centre international de recherche agronomique pour le développement (Cirad), a ainsi mis au point, avec son équipe, une technique différente, fondée sur la spectrométrie proche infrarouge (Spir), en passe d'aboutir. « *La Spir est une technique rapide et non destructive des échantillons qui donne une empreinte spectrale de la composition chimique globale du produit. Elle utilise la propriété qu'ont les molécules organiques d'absorber de l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde comprises entre 800 et 2500 nanomètres* », précise le chercheur. Soit une « empreinte » originale quand la technique américaine cherche à différencier les compositions moléculaires. La méthode a d'ores et déjà été testée sur 70 cacaos provenant de Côte d'Ivoire, 32 de Trinité-et-Tobago et 80 du Venezuela issus des variétés Amelonado, Forestero, Trinitario et Criollo. Avec 100 % de taux de réussite. Si ces résultats sont prometteurs, il faudra cependant quelques années avant de les utiliser en routine car il faut désormais construire une base de données des spectres des différentes origines, des variétés et des millésimes. Autant d'« empreintes » multiples sans lesquelles la comparaison d'échantillons ne pourra pas être fiable. Mais Renaud Boulanger voit plus loin. « *Nous travaillons à la discrimination des arômes* », assure-t-il.

La technique française Spir livre une empreinte spectrale de la composition du produit, alors que la technique américaine cherche à différencier la composition moléculaire.

BRUNO BOURGEOIS

Une nouvelle étape entreprise par le groupe Valrhona, spécialiste des chocolats « fins ». « *La question de l'origine concerne peu notre société car nous contrôlons déjà les récoltes en visitant directement les plantations dans les pays producteurs et en surveillant les premières étapes de fermentation et de séchage*, explique Pierre

Costet. *Notre objectif est désormais de développer une technologie capable de nous donner le potentiel aromatique d'un cacao.* » Et les premiers résultats sont là. Le projet Chaman, financé depuis 2015 par la Fondation Agropolis et le crédit impôt-recherche de Valrhona, vient en effet de faire la démonstration qu'une machine peut remplacer les « nez » humains chargés de juger des lots achetés. « *La fermentation déclenche les précurseurs d'arômes et la torréfaction les arômes eux-mêmes*, détaille Pierre Costet. *Ensuite, pour chaque lot de 12 à 25 tonnes, nous procédons à la fabrication d'une petite quantité de chocolat qui est testée par notre jury de sept spécialistes.* » Ces goûteurs font fondre sur leur langue un produit pur, sans sucre et très amer, dont ils déterminent une trentaine de critères : acidité, astringence, amertume, douceur, notes florales ou de fruits, fonds d'épices, de bois, de noisette, de brûlé, etc. Le groupe chocolatier a ainsi dénombré 900 arômes différents dont 40 à 150 sont présents dans un seul échantillon. Un cacao de Madagascar se doit par exemple d'être acide, très peu amer, avec des notes de fruits rouges, le summum étant la framboise. « *Nous les classons ensuite en 17 standards d'arômes qui vont abonder quatre pôles où le chocolat seul — ou en mélange — correspond à une attente spécifique de nos acheteurs, industriels et artisans chocolatiers* », assure Pierre Costet. Une démarche jugée longue, coûteuse et usante pour les goûteurs.

Vers un appareillage simple et facile d'accès

Raison pour laquelle le groupe français a fait appel aux chercheurs du Cirad pour tenter d'automatiser ce travail. « *Une combinaison des techniques de spectrométrie proche infrarouge, de fluorescence frontale et de spectrométrie de masse nous a permis d'établir un suivi et une quantification des composés organiques volatils et non volatils*, se réjouit Renaud Boulanger. *Avec des taux de succès allant de 70 à 95 % selon les combinaisons de techniques utilisées.* » Reste désormais à Valrhona et au Cirad à mettre au point un appareillage simple et une lecture facile des résultats. « *Nous cherchons à construire des instruments fiables, peu onéreux, qui permettraient à nos goûteurs de tester uniquement les lots posant problème* », poursuit le chercheur. Pierre Costet voudrait même confier directement aux producteurs le soin de contrôler la qualité de leur produit. Soit rien de moins que réussir la décolonisation du chocolat. ■

Loïc Chauveau
@Loïc_Chauveau

PROGRAMME

Revaloriser le travail des planteurs de cacao

DES PAYSANS PAUVRES des pays du Sud fournissant à bas prix un aliment qu'ils n'ont souvent jamais goûté et dont la quasi-totalité de la plus-value est réalisée dans les pays riches. Sur les 72 milliards d'euros de chiffre d'affaires de la filière, 94 % sont captés par les États-Unis et l'Europe. Telle est la réalité du marché du chocolat que tente de changer Cocoa of Excellence, une organisation créée par des industriels et des centres de recherche en 2009 pour récompenser chaque année 300 planteurs lors d'un concours international. « *En augmentant les revenus des paysans, nous pourrons améliorer les méthodes de production, favoriser l'agroforesterie et éviter la déforestation tout en obtenant des fèves de meilleure qualité* », explique Brigitte Laliberté, coordinatrice de ce programme. La première étape consistant à intéresser les industriels à la culture et à faire en sorte que les producteurs sachent, en retour, reconnaître la qualité des fèves de cacao pour améliorer leurs pratiques. « *Nous allons désormais proposer de petites unités techniques peu onéreuses de transformation du cacao aux groupements d'agriculteurs et coopératives pour qu'ils testent eux-mêmes les caractéristiques de leur récolte* », poursuit Brigitte Laliberté. Ce qui permettra, à terme, de rééquilibrer les relations commerciales.

UTE GRABOWSKY/GETTY IMAGES

Les planteurs doivent reconnaître la qualité de leur production pour améliorer leurs pratiques (ici un contrôle des fèves de cacao après séchage, en Côte d'Ivoire).

Les escargots « gauches » naissent du hasard

Un chercheur a mené une étude pour savoir pourquoi certains escargots ont la coquille qui s'enroule en sens inverse de la normale.

LA PROCHAINE FOIS que vous croiserez un escargot, observez attentivement sa coquille : celle-ci devrait s'enrouler dans le sens des aiguilles d'une montre. Sinon, vous venez de dénicher un très rare escargot « gauche » pourvu d'une coquille qui « tourne » à contresens de celle de ces congénères ! Mais à quoi est due cette curiosité ? se sont demandé Angus Davison *(photo ci-contre)* de l'École des sciences de la vie de l'université de Nottingham (Royaume-Uni) et ses collègues dans un article de *Biology Letters*. Car, à ce stade, les généticiens de l'évolution ne pouvaient poser que deux hypothèses. La première : l'enroulement « gauche » des escargots est dû à un gène particulier très rarement présent chez les gastéropodes. Ce serait alors ce que l'on nomme un gène récessif : les deux parents doivent le posséder pour que la progéniture hérite du caractère. Deuxième hypothèse : c'est une mutation au hasard comme il s'en produit parfois. La « faute à pas de chance » car, quand on naît escargot gauche, la vie est un enfer. Surtout sexuellement. En effet, de la coquille aux organes internes, l'escargot gauche est l'image dans un miroir d'un escargot droit. Ce qui signifie que les organes sexuels également sont asymétriques. Compliquant l'accouplement entre deux escargots à l'enroulement opposé.

Pour départager les deux hypothèses, le chercheur allait avoir besoin de faire se reproduire beaucoup d'escargots gauches. Celui-ci fit donc appel, en lançant un message sur la radio BBC en octobre 2016, à toutes les bonnes volontés pour fouiller leur jardin à la recherche de ces raretés zoologiques. Avec succès : plus de 40 d'entre eux furent débusqués, permettant à l'équipe d'entamer un élevage. En l'espace de deux générations, et après trois ans de patience, le chercheur avait réuni assez d'œufs pour annoncer que le taux d'escargots gauches obtenus pouvait être estimé à 1 sur 40 000. Soit un nombre trop faible pour être attribuée à ce que l'on nomme une transmission mendélienne « classique », c'est-à-dire dépendant d'un gène se diffusant d'une génération à l'autre.

SHANTHI DAVISON

Une mutation au niveau des gènes qui contrôlent le cytosquelette du gastéropode pourrait expliquer que chez de rares escargots, la coquille s'enroule à gauche et non à droite.

Mieux comprendre les asymétries chez l'humain

Avoir la coquille qui tourne à gauche, concluent les chercheurs, ne peut donc être que la conséquence d'un accident survenu durant la période développementale. Ils pensent que la mutation ponctuelle en cause devrait se trouver au niveau des gènes contrôlant la topologie du cytosquelette de l'animal et donc le sens de rotation de sa coquille. Ils précisent également que s'intéresser à ces enroulements chez l'escargot pourrait être crucial pour mettre au jour les facteurs à l'œuvre dans les asymétries chez d'autres espèces. Comme chez l'être humain, avec le *situs inversus*, où certains organes se trouvent en position miroir de leur position normale. Le cœur est à droite, le foie et la vésicule biliaire se retrouvent à gauche, et ainsi de suite pour le reste des organes internes. On estime que cette anomalie congénitale touche une personne sur 10 000. ■

Hervé Ratel

Les sept leçons du Covid-19

Les Français sortent de cette longue crise sanitaire avec le sentiment d'avoir échappé au pire. À l'heure des vacances et des incertitudes sur une seconde vague potentielle, « Sciences et Avenir » dresse un bilan des connaissances scientifiques sur ce virus.

Par Hugo Jalinière, Hervé Ratel et Elena Sender

La première vague pandémique de Covid-19 s'est achevée en Europe à la faveur d'un confinement strict. La déferlante a ainsi pu être endiguée et les systèmes de santé préservés de l'effondrement. Une respiration bienvenue qui contraste pourtant avec la situation mondiale : « *La pandémie continue de s'accélérer*, prévenait ainsi le directeur de l'OMS fin juin. *Il a fallu plus de trois mois pour que le premier million de cas soit signalé, le dernier million de cas a été signalé en seulement huit jours.* » De fait, le virus Sras-CoV-2 circule de façon plus soutenue que jamais et l'épidémie se poursuit en Amérique du Sud, aux États-Unis ou en Inde. À l'heure où vous lirez ces lignes, plus de neuf millions de cas confirmés et 500 000 décès auront été enregistrés. Désormais, plus personne n'ose espérer une disparition du virus. Au contraire, tout porte à croire qu'il s'est installé pour longtemps, comme d'autres avant lui. Les populations comme les systèmes de santé sont certes mieux préparés. Mais cela suffira-t-il à éloigner le spectre d'une deuxième vague ? Le Covid-19 nous a appris à être prudent. **H. J.**

1 Le virus n'est pas près de disparaître

« *Régulièrement dans l'histoire de l'humanité, un virus particulièrement affûté devient capable de s'installer dans la population. C'est ce qui s'est passé avec le sida au XX^e^ siècle, et c'est ce qui nous arrive aujourd'hui avec le Covid-19, même si la maladie est moins sévère* », explique le Pr Patrick Berche, chef de service de microbiologie à l'AP-HP et membre de l'Académie de médecine. Et c'est aussi ce qui est arrivé avec les quatre autres coronavirus humains qui nous infectent régulièrement : 229E, HKU1, OC43, NL63. Très contagieux, ils sont responsables d'environ 25 % de nos « rhumes d'hiver », bénins dans la plupart des cas, mais qui peuvent se montrer sévères chez les plus fragiles, mortels parfois. Rien à voir donc ? « *J'ai beaucoup entendu dire "Le Sras-CoV-2* [responsable du Covid-19] *n'est pas comme les autres coronavirus", mais c'est surtout qu'on ne sait pas comment étaient les autres quand ils ont émergé !* relève Astrid Vabret, cheffe du service de virologie au CHU de Caen. *Il y a fort à parier que le HCoV-NL63 qui nous infecte plusieurs fois dans nos vies faisait bien plus de dégâts quand il est apparu au XIII^e^ siècle.* »

L'analyse phylogénétique des virus permet en effet de remonter l'historique de leurs mutations pour trouver des ancêtres communs : NL63 circulerait ainsi depuis près de 1000 ans... 229E s'est manifesté, lui, au début du XIX^e^ siècle. Certaines pandémies historiques dites de grippe pourraient même être dues à des coronavirus : en 2005, des chercheurs belges montraient que le virus OC43, le plus fréquemment détecté chaque hiver avec NL63, avait émergé aux alentours de 1890... en pleine pandémie dite ▶

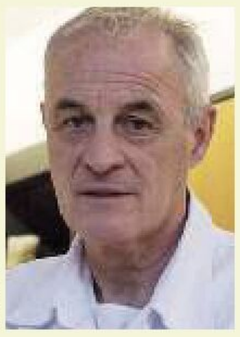
THÉRAPEUTIQUE

L'OMS fonde de l'espoir sur un anti-inflammatoire

Le 18 juin, l'OMS a annoncé l'arrêt des essais cliniques sur l'hydroxychloroquine comme traitement du Covid-19, les résultats préliminaires ne suggérant pas de diminution de la mortalité. Mais presque simultanément, l'organisme s'est félicité des résultats encourageants obtenus avec un anti-inflammatoire connu et peu coûteux : la dexaméthasone. L'étude britannique Recovery (plus de 11 500 malades dans 175 hôpitaux) suggère que ce corticoïde, administré pendant dix jours, permet de réduire d'un cinquième à un tiers la mortalité chez les patients intubés ou sous oxygénation. Ce résultat, annoncé par l'université d'Oxford (Royaume-Uni), n'a cependant fait l'objet que d'une prépublication à l'heure où nous écrivons ces lignes. Ce qui n'a pas empêché l'OMS d'appeler le 22 juin à une hausse immédiate de la production de dexaméthasone. M. N.

PASCAL GUYOT/AFP

Les longues journées estivales augmentent la durée d'exposition du coronavirus aux UV, favorisant son affaiblissement saisonnier.


MAXPPP

INTERVIEW

PR DIDIER PITTET

INFECTIOLOGUE ET ÉPIDÉMIOLOGISTE, MÉDECIN-CHEF AUX HÔPITAUX UNIVERSITAIRES DE GENÈVE, EXPERT AUPRÈS DE L'OMS (ET INVENTEUR DU GEL HYDROALCOOLIQUE)

« Le virus peut revenir comme la première fois »

Peut-on vraiment être prêt à contrôler une seconde vague sans reconfiner ?
La réponse scientifique, c'est oui. Les modélisations montrent l'importance de deux paramètres essentiels : l'hygiène des mains et la distanciation sociale, ou physique. C'est déterminant. Et dès que la distance de plus d'un mètre ne peut pas être respectée, le masque est très fortement recommandé. Mais il doit être porté et manipulé avec toutes les précautions nécessaires pour rester utile. C'est une discipline très exigeante, et même les médecins font des erreurs. Le port du masque ne doit ainsi jamais dégrader l'hygiène des mains.

Quelle politique de test faut-il appliquer ?
En Europe, nous venons juste de maîtriser un gigantesque incendie avec les Canadair, le confinement généralisé. Très efficace, mais il faut traquer les foyers résiduels au plus près pour empêcher le feu de repartir. Toute personne qui développe un ou des symptômes compatibles avec le Covid-19 doit donc s'isoler, être testée, et mise en quarantaine. Tout comme ses contacts, identifiés par une enquête épidémiologique rapide. En revanche, le dépistage à l'aveugle dans une population n'a pas grand intérêt, le taux de négatifs serait trop important. Il peut être pertinent pour des bateaux de croisière, par exemple.

Faut-il s'inquiéter d'entendre que des foyers continuent d'être identifiés ?
Non, ça prouve que le système de surveillance fonctionne, tant qu'ils sont repérés tôt et restent de petite taille. Car l'objectif n'est pas tant d'éviter une deuxième vague que de bien négocier les vaguelettes, ou foyers, que nous n'éviterons pas. Si aujourd'hui en Europe, c'est le meilleur moment pour redémarrer les activités, le virus est le même et peut revenir exactement comme la première fois.
C'est le comportement de la population d'abord, et la capacité de tests ensuite, qui forceront le virus à ne circuler qu'à « bas bruit ». ■

Propos recueillis par H. J.

de grippe russe. Environ un million de morts estiment les historiens, lors de plusieurs « récurrences » entre 1889 et 1895, des « vagues » successives. Si la thèse d'un coronavirus est solide, elle reste indémontrable : aucun échantillon du pathogène à l'origine de cette pandémie n'a jamais pu être analysé. Reste que ces quatre coronavirus aujourd'hui bénins circulent partout. Si Covid-19 devait suivre ce chemin, c'est une longue période périlleuse qui s'ouvre pour les plus fragiles, le temps que le virus « s'adapte ». *« Au vu du nombre de cas dans le monde (près de 9 millions), et du faible niveau d'immunité, le Sras-CoV-2 n'est pas près de disparaître,* affirme Christine Rouzioux, du laboratoire de virologie de l'hôpital Necker à Paris. *La chaleur, l'humidité ou les journées d'été qui rallongent la durée d'exposition du virus aux UV, comme le temps passé en plein air, sont des facteurs qui aident à affaiblir la vague épidémique. Mais cela ne suffira pas. Il faut être prêt. »* Et prudent, longtemps. **H. J.**

2 On sait pourquoi il est devenu dangereux

Lorsqu'il a été identifié en Italie en mars, le virus semblait avoir adopté une nouvelle attitude : bien plus infectieux et se répandant désormais comme une traînée de poudre à travers l'Europe et ailleurs. Une mutation essentielle pouvait-elle en être la cause ? Cette première intuition épidémio-génétique semblait confirmée par une première étude fin avril, mais vite abandonnée car cette dernière fit l'objet de vives critiques. Pourtant, une seconde étude *in vitro* menée par l'institut de recherche Scripps (Floride, États-Unis) vient de confirmer qu'effectivement, il s'était passé quelque chose dans l'histoire génétique du virus qui avait dramatiquement changé sa course et augmenté sa propagation au sein de la population humaine. Le nom de cette mutation : D614G. Le simple remplacement d'un acide aminé par un autre sur le bout des protéines qui forment les spicules à la surface du virus. Et ce simple changement, montrent les expériences de l'équipe américaine, a deux conséquences. D'une part, cette mutation multiplie la densité des spicules d'un facteur 4 à 5. Et puisque le virus s'ancre aux cellules de notre organisme et les infecte par l'intermédiaire de ces spicules, plus ils sont nombreux, plus efficace sera l'infection.
Deuxième effet de la mutation : rendre le spicule plus résistant et moins susceptible de se briser. Et les banques de données génétiques ont donné aux chercheurs une idée du « succès » de cette mutation et de la rapidité de son expansion : en février, on ne la retrouvait nulle part, en mars, elle était présente dans 25 % des échantillons et en mai, dans 70 % ! En revanche, les chercheurs ne savent pas si elle a également augmenté la sévérité des symptômes des malades. **H. R.**

3 Ceux qui ont déjà été infectés ne sont pas protégés longtemps

De nouvelles études le confirment : notre système immunitaire ne sera sans doute pas capable de s'immuniser lui-même contre le virus. Il aura besoin d'un vaccin pour l'aider. Un travail chinois publié dans *Nature Medicine* le 18 juin, suggère en effet qu'une fois exposé au virus, un organisme humain serait protégé durant deux à trois mois. Guère plus, et encore moins pour les personnes asymptomatiques chez qui les anticorps semblent particulièrement fragiles. Entre 20 et

LUTTE CONTRE LE VIRUS

Des bilans très contrastés selon les pays

ROYAUME-UNI

Avec plus de 40 000 morts, c'est le deuxième pays le plus touché au monde. En cause : le choix politique (tout comme la Suède) de la stratégie de l'immunité collective sans confinement de la population. Aucune donnée scientifique ne pouvait laisser penser que cette stratégie risquée se révélerait vraiment efficace.

ALLEMAGNE

Le pays a un des taux de mortalité les plus faibles d'Europe, 11 décès pour 100 000 habitants. Si l'Allemagne n'a pas adopté de confinement collectif strict, elle a misé sur un dépistage massif de sa population.

ÉTATS-UNIS

Triste record, le pays est le plus touché du monde avec plus de 100 000 morts. Et la barre des 200 000 morts pourrait être dépassée d'ici à septembre. En cause : la politique tardive et aberrante de Donald Trump, un confinement à la fois mal respecté et levé beaucoup trop tôt.

MAROC

Avec moins de 200 morts, le Maroc s'est révélé exemplaire dans sa gestion de la crise. Le pays a démontré une réactivité fulgurante, fermant dès le 16 mars, à l'annonce du premier décès, écoles et universités, avant de déclarer le confinement général.

NOUVELLE-ZÉLANDE

Mille contaminés, une vingtaine de morts. Un excellent bilan grâce à une quarantaine mise en place dès les premiers cas, fermeture des frontières dans la foulée, avant, le 25 mars, de confiner le pays.

BRUNO BOURGEOIS

50 % des personnes infectées ne développent en effet jamais de symptômes viraux. Cela ne signifie pas qu'elles sont peu infectées : des biopsies des tissus pulmonaires ont montré qu'un tiers de ces personnes asymptomatiques possédaient des anormalités cellulaires typiques du passage du virus. Du reste, non seulement elles propagent le virus, mais elles semblent le faire plus longtemps que les personnes développant des symptômes.

Peut-on se faire infecter une deuxième fois ? C'est la question qui trotte dans toutes têtes maintenant que la première vague de contaminations est en reflux. Les chercheurs avouent ne pas avoir la réponse pour l'instant, mais ils alertent sur le fait que la protection naturelle offerte par une première infection n'est pas du tout pérenne. Une surprise alors que les anticorps développés contre d'autres coronavirus, comme le Sras ou le Mers durent au moins une année. Une note positive toutefois avec une seconde étude parue dans *Nature* et conduite par trois chercheurs de l'université Rockefeller (New York, États-Unis). Elle montrerait que des niveaux très bas d'anticorps seraient suffisants pour lutter contre le virus. Une bonne nouvelle pour le futur vaccin. **H. R.**

4 Les enfants sont de tout petits contaminateurs

Moins contaminés et moins contaminants... les enfants sont innocents ! Infectiologues, virologues, épidémiologistes ont d'abord pensé que, comme pour presque tous les autres virus respiratoires, les enfants étaient des vecteurs importants de l'épidémie ; peut-être asymptomatiques, avec une hygiène difficile à contrôler... Logique, mais faux. Si c'est bien le cas pour la grippe ou les autres coronavirus, il n'en est rien pour le Sras-CoV-2. En juin, une enquête ▶

conduite en Île-de-France sur 605 enfants de moins de 15 ans suivis par des pédiatres en ville a montré que 10 % avaient déjà rencontré le virus (test sérologique), et 1,8 % était infecté au moment du test diagnostique. « *Et dans neuf cas sur dix, c'est un adulte qui contamine l'enfant* », assure le Pr Robert Cohen qui a dirigé l'étude. Ainsi, les enfants compteraient pour moins de 2 % des plus de huit millions de cas confirmés de Covid-19 dans le monde.

Comment expliquer cette protection ? Fin mai, des chercheurs américains ont montré que l'expression génétique des récepteurs ACE2, dont se sert le virus pour pénétrer les cellules nasales, dépendait de l'âge. L'analyse des échantillons de cellules de 305 patients âgés de 4 à 60 ans a révélé que plus on est jeune, moins le récepteur est exprimé. L'autre facteur possible, c'est l'immunité croisée. Le fait d'avoir été récemment infecté par d'autres coronavirus conférerait une protection indirecte contre Sras-CoV-2. Avec le coronavirus NL63 par exemple, qui utilise le même récepteur ACE2 pour fusionner avec les cellules. Prudence toutefois, car aucun expert ne se risque à dire que la dynamique infectieuse restera la même dans le temps. Par exemple, des enfants — ou des adultes — qui étaient protégés par une immunité croisée avec NL63 lors de la première vague pourraient ne plus l'être l'hiver prochain. L'immunité comme le virus est évolutive. **H. J.**

5 Il y a 18 millions de personnes vulnérables en France

Il y a presque deux fois plus d'hommes que de femmes qui sont admis en réanimation ou qui décèdent du Covid-19 en France. Une constante qui vaut dans toutes les tranches d'âge selon une étude publiée dans *Science* et dirigée par le Dr Simon Cauchemez, chercheur à l'institut Pasteur et membre du Conseil scientifique. Le rapport est certes plus équilibré pour les hospitalisations, ce qui montre que les hommes sont plus particulièrement touchés par l'aggravation de la maladie. L'âge des patients reste toutefois le facteur le plus significatif, à la fois pour l'infection, l'aggravation et la mortalité. 71 % des quelque 30 000 décès en France concernent ainsi des plus de 75 ans, 18 % les 65-74 ans, 10 % les 45-64 ans, et 1 % les 15-44 ans. Enfin, l'obésité et les maladies chroniques, le diabète en particulier, constituent le troisième facteur de risque le plus important. En tout, 18 millions de personnes en France sont vulnérables face au Covid-19. **H. J.**

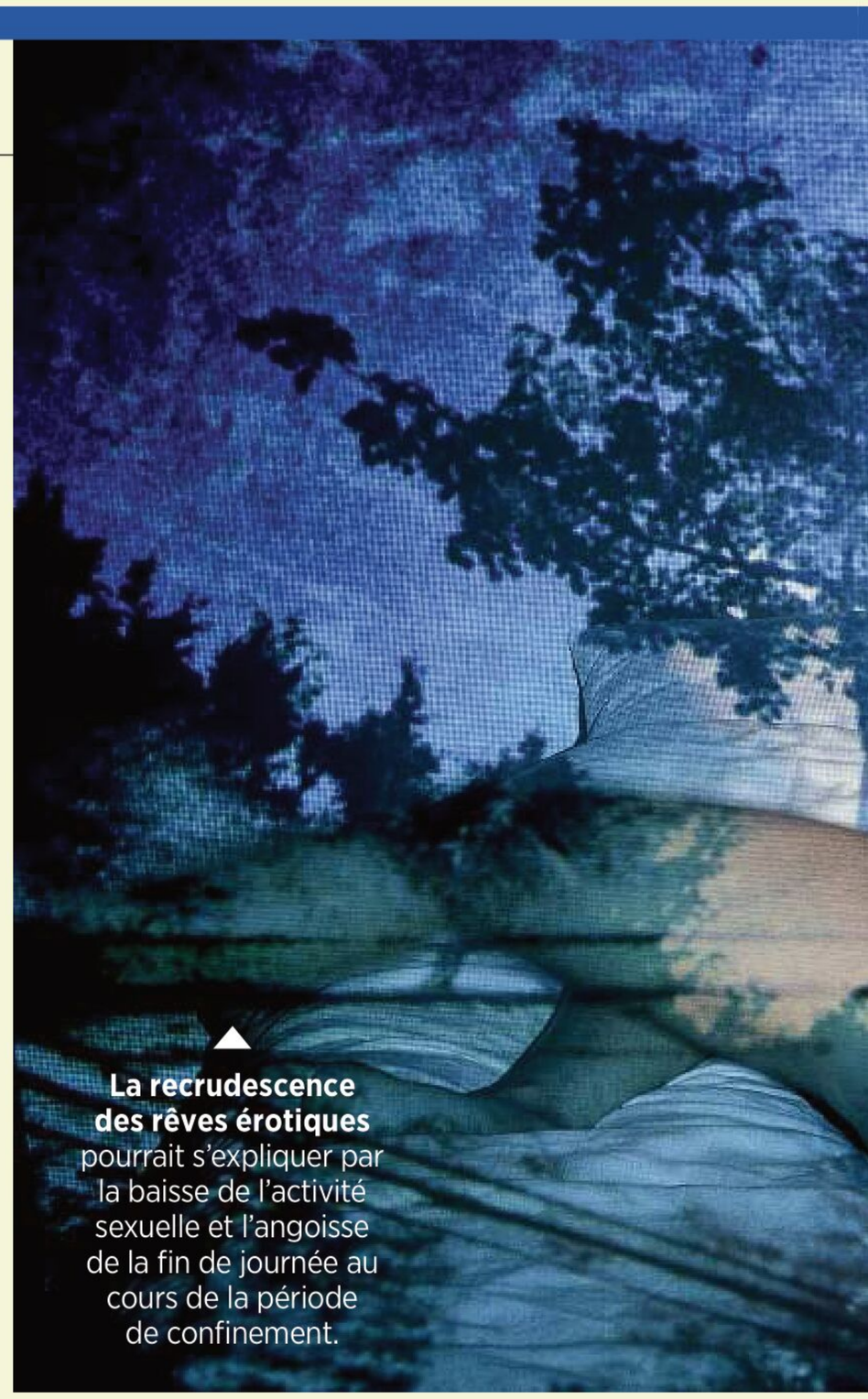
LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'ensemble de nos articles sur la pandémie de Covid-19 et son suivi sur notre site : **sciav.fr/COVID-19**

6 Le confinement a changé nos cerveaux

« *La solitude — définie comme un isolement social perçu — a probablement modifié la neurobiologie pendant le confinement* », estime

NEUROLOGIE

Le rêve a joué pleinement son rôle pendant le confinement



La recrudescence des rêves érotiques pourrait s'expliquer par la baisse de l'activité sexuelle et l'angoisse de la fin de journée au cours de la période de confinement.

Songes érotiques, de maladie, de mort, d'enfermement, de fêtes..., nos rêves pendant le confinement, ont été nombreux et intenses ! C'est ce que démontre l'équipe de Perrine Ruby, chercheuse Inserm au Centre de recherche en neurosciences de Lyon qui a lancé le 6 avril un questionnaire en ligne, où l'on pouvait raconter ses rêves. « *On a eu 6500 réponses dont 3900 complètes. Et parmi elles, 1500 rapportent des rêves désagréables et des cauchemars* », indique la chercheuse. À la première analyse, le bilan est clair : les songes ont été plus intenses, « *15 % des personnes ont rapporté des rêves plus négatifs qu'en temps normal, 7 % plus positifs.* »

Les Français ont rêvé de « *promenades en famille, de plages, de fêtes, des mondes merveilleux qu'ils survolaient, libres* », mais aussi et surtout « *d'intrusion avec un nombre phénoménal de rêves de viol. Nous en déduisons que les gens se sont sentis envahis dans leur intimité, notamment avec le travail à la maison, la sensation d'être poussés dans leurs retranchements. Logiquement, le thème de l'enfermement revient aussi beaucoup, ainsi que l'injustice.* » L'émotion dominante a été la peur qui s'est manifestée par des rêves de poursuites, « *des menaces terribles* ». Les scientifiques notent aussi la recrudescence des rêves érotiques.

Un fait d'autant plus remarquable que la majorité des personnes sondées étaient confinées en couple avec une activité sexuelle diminuée chez un tiers d'entre elles. « *Cela peut être une compensation de la baisse de l'activité sexuelle et de l'angoisse de la journée.* » *In fine*,

SURUN-BRUNAUD/TENDANCE FLOUE

« le confinement a été un défi pour le cerveau car il a fallu à la fois qu'il s'adapte à l'isolement social mais aussi qu'il se reconfigure face à de nouvelles conditions matérielles et sociétales, dans une incertitude terrible, inédite, analyse Perrine Ruby. *Il est aujourd'hui tout à fait démontré que le sommeil et le rêve jouent un rôle actif dans cette adaptation.* » Et la chercheuse de conclure : *« Le sommeil et le rêve ont pleinement joué leur rôle d'adaptation émotionnelle et cognitive pendant le confinement.* » **E. S.**

Danilo Bzdok chercheur à l'université McGill et à l'Institut québécois d'intelligence artificielle Mila (Canada). Le chercheur s'appuie sur l'analyse de près de 200 études sur l'isolement social chez l'humain et l'animal qu'il a réalisée avec Robin Dunbar, professeur émérite de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) et publiée dans le journal *Trends in Cognitive Sciences* en mai. Ainsi, les deux chercheurs l'affirment : l'isolement social change le cerveau, même s'il ne dure que quelques semaines. *« Chez les personnes qui se sentent seules, ce que l'on nomme "l'axe du stress" est activé dans l'organisme, la solitude étant vécue comme une menace,* explique Danilo Bzdok. *On note alors une sécrétion perturbée des hormones du stress (cortisol) avec son cortège d'effets délétères possibles : troubles du sommeil, cardio-vasculaires, anxiété, dépression, etc.* » En outre *« les personnes seules sont plus sujettes aux infections et ont une résilience moindre,* poursuit le spécialiste. *Et chez les personnes âgées, le sentiment de solitude précipite l'apparition de démences de type Alzheimer* ». Pis, en matière d'espérance de vie *« l'impact de la solitude peut être aussi fort que fumer 15 cigarettes par jour ! »*, selon une méta-analyse de l'université Brigham Young (États-Unis) parue dans *Plos One*, en 2010.

La solution ? *« Pour augmenter notre résilience, il faut favoriser les interactions sociales, notamment avec une composante visuelle — que ce soit dans la réalité ou en vidéo —, car les expressions du visage sont idéales pour transmettre rapidement des messages sociaux complexes.* » Mais aussi créer un maximum de possibilités de rencontres (lieux, événements...) où toutes les activités réalisées en commun (danser, chanter, jouer, cuisiner...) activent le circuit cérébral de la récompense (émotions positives) et augmentent le bien-être en général, excellent pour la santé. **E. S.**

P. TATTEVIN

« Aucun argument n'étaye l'hypothèse d'une maladie chronique »

Pierre Tattevin, chef de service des maladies infectieuses au CHU de Rennes

7 Les symptômes peuvent persister longtemps

10 à 15 % des patients ayant fait une forme bénigne ou modérée de la maladie rapportent une persistance des symptômes plus de six semaines après leur « guérison » : fatigue extrême, maux de tête et gêne respiratoire. *« C'est un phénomène connu dans certaines infections virales comme la mononucléose, mais jamais observé avec un virus respiratoire* », explique le Pr Pierre Tattevin, infectiologue au CHU de Rennes qui participe au suivi d'une cohorte de patients pour éclaircir ce mystère. Ce n'est pas le virus qui persiste dans l'organisme ni une réinfection *« car les prélèvements effectués reviennent tous négatifs* », raisonne le spécialiste. Ce ne sont pas non plus des embolies pulmonaires consécutives à l'infection ou une évolution vers une fibrose selon les analyses réalisées.

Une forme chronique de la maladie comme l'évoquent déjà certains ? *« Ce virus nous a appris à être prudent, donc il ne faut rien exclure, mais il n'y a pas d'argument qui étaye cette hypothèse. En particulier, on ne décèle pas d'inflammation chez les convalescents et la cinétique est plutôt favorable : à 12 semaines, les patients vont déjà mieux* », explique Pierre Tattevin. *« La piste la plus crédible aujourd'hui c'est que l'infection provoquerait parfois un dérèglement transitoire du système immunitaire. Deux arguments vont dans ce sens : cela touche surtout les jeunes en bonne santé qui ont donc un système immunitaire plus robuste et réactif. Et les femmes sont surreprésentées dans la cohorte, or on sait qu'elles sont plus sujettes aux réactions auto-immunes* », détaille Pierre Tattevin. Des travaux plus poussés sur l'immunité seront nécessaires pour confirmer ces mécanismes. ■ **H. J.**

Faut-il cesser de manger de la viande ?

De plus en plus de Français font l'impasse sur les produits carnés. Un choix bénéfique pour la santé, à condition de respecter certains équilibres.

DEMAIN, ADOPTERONS-NOUS tous un régime végétarien, sans l'apport d'aucune chair animale ? Force est de constater que réduire sa consommation de produits carnés, voire bannir totalement la viande de son assiette, est un comportement alimentaire qui fait de plus en plus d'adeptes dans notre société pour des raisons sanitaires, environnementales et éthiques. Déjà près de 25 000 volontaires se sont pris au jeu du mouvement « Lundi vert » lancé en 2019 qui encourage à ne consommer ni viande ni poisson chaque lundi. Plus globalement, en 2017, 34 % des Français se sont déclarés flexitariens *(lire lexique)* contre 25 % en 2015. Près de 2 % des foyers comptent au moins un membre végétarien contre 1,5 % en 2015. En revanche, le végétalisme reste plus confidentiel : 0,4 % des ménages seulement ont sauté le pas et ne consomment plus aucun produit animal (viande, poisson, œufs, produits laitiers) (1).

Toutefois, si consommer moins de viande, voire plus du tout de viande rouge, semble être la clé d'une meilleure santé, il convient d'adapter son alimentation, en la remplaçant par des produits apportant l'ensemble des acides aminés essentiels, les minéraux et les vitamines nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme.

La viande rouge accroîtrait le risque de diabète

La viande rouge est une source précieuse et facilement assimilable de fer, de zinc, un oligo-élément nécessaire à l'immunité et à divers processus enzymatiques (synthèse ADN, ARN, protéines), ainsi que de vitamine B12, qui contribue à la constitution des globules rouges. Mais sa richesse en acides gras saturés est souvent pointée du doigt car ces derniers favoriseraient le surpoids et le cholestérol LDL, deux facteurs de risques cardiovasculaires. Selon une étude américaine de suivi de trois cohortes d'individus, augmenter d'une demi-portion (42,5 g environ) sa consommation de viande rouge (bœuf, porc,

12 %

C'est la baisse enregistrée de consommation de produits carnés (bruts, cuisinés ou dans les plats préparés) en France en dix ans. En 2017, les Français consommaient 48 kg de viande par personne et par an contre 56 kg en 2007.

(SOURCE : CREDOC, 2018)

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

FLEXITARIEN Personne adoptant la plupart du temps une alimentation végétarienne, mais qui s'autorise une consommation occasionnelle de viande.

ACIDES AMINÉS ESSENTIELS Unités de structure constituant les protéines qui ne peuvent être synthétisées par l'organisme et doivent être apportées par l'alimentation. On en compte neuf chez l'humain : tryptophane, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, valine, leucine, isoleucine et histidine.

FER HÉMINIQUE Fer incorporé dans la structure de l'hème, qui entre dans la constitution de l'hémoglobine et de la myoglobine. Il est mieux assimilé par l'organisme que le fer non héminique présent dans les végétaux et les produits laitiers.

agneau, viande transformée et charcuterie) par jour serait associé à une hausse de 48 % du risque de diabète au cours des quatre années suivantes (2). De même, cette habitude augmenterait de 10 % le risque de mortalité prématurée (3).

Elle expose au risque de cancer

En 2015, le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé la consommation de viandes transformées (dont la charcuterie) comme « cancérogène pour l'homme » et celle de viande rouge (bœuf, porc, veau, agneau, mouton, cheval, chèvre) comme « probablement cancérogène », principalement pour le cancer colorectal. Des conclusions concordantes avec celles des rapports d'expertise collective internationale publiés par le World Cancer Research Fund et l'American Institute for Cancer Research (4). Parmi les principaux mécanismes mis en cause, on note l'excès de fer héminique. Lors de la digestion, celui-ci induirait la peroxydation des lipides conduisant à la formation d'aldéhyde, un composé néfaste pour l'ADN et les cellules (5). Les nitrites, utilisés pour conserver les viandes transformées, entraîneraient par ailleurs la formation de composés N-nitrosés, toxiques pour l'ADN.

La remplacer par des œufs et des produits laitiers

Il est donc recommandé de limiter la consommation de viande rouge à 500 g par semaine (un steak pèse 100 à 150 g) et celle de charcuterie à 25 g par jour (environ cinq tranches fines de saucisson) et de privilégier la volaille et le lapin, lesquels contiennent moins de fer héminique et de graisses saturées. Selon une étude américaine, remplacer les steaks et les saucisses par du poulet réduirait de 28 % le risque de cancer du sein (6).

Une autre alternative pour les non-végétaliens est de consommer des œufs et des produits laitiers. Ceux-ci apportent l'ensemble des acides aminés essentiels ainsi que de la vitamine B12, inexistante dans les végétaux. Par ailleurs, les œufs contribuent à l'apport en fer (1,9 mg/100 g d'œuf à la coque).

Redécouvrir les légumineuses

Les légumes secs sont particulièrement intéressants pour leur richesse en protéines végétales : 100 g de soja en apportent 34,5 g, la même quantité de lentilles vertes cuites, 10,1 g. Ils constituent donc un excellent substitut. Toutefois, les légumineuses ne renferment pas la totalité des acides aminés essentiels, car il leur manque la méthionine. Il faut donc les associer aux céréales, elles-mêmes pauvres en lysine. Sans oublier les fruits secs (six à sept noix entières fournissent 7 g de protéines), également bien pourvus en zinc (2,25 mg/100 g de noisettes).

Des substituts végétaux pas toujours à la hauteur

Prudence, les teneurs en protéines des préparations à base de soja, de pois ou de céréales sont assez inégales selon les marques. Avec 3 g de protéines/100 g, la Galette aux céréales et légumes du soleil bio (Bjorg) est peu rassasiante comparée au Haché végétal façon bolognaise au soja (Céréal bio) qui affiche 16 g de protéines/100 g. Certains produits apparaissent de surcroît assez riches en lipides (10 g pour le Croque Tofou curry pavot de Soy) et trop salés au regard des recommandations officielles de 5 g/jour maximum. Mieux vaut donc cuisiner des produits bruts tels que le seitan, fabriqué à partir de protéines de blé, le tofu ou le tempeh, à base de soja fermenté. ■ **Sylvie Boistard**

JEAN-FRANÇOIS HOCQUETTE Chercheur à l'Unité mixte de recherches sur les herbivores, Inrae de Clermont-Ferrand.

La viande de culture n'est pas prête

« Depuis 2013, date du premier "steak *in vitro*", il n'a été observé aucune avancée majeure dans la production de "viande artificielle" réalisée à partir de cellules souches bovines. L'usage du sérum fœtal bovin (FBS) dans le milieu de culture, pour stimuler la multiplication et la différenciation des cellules, reste éthiquement problématique car il est obtenu à partir du sang fœtal d'un veau. Des alternatives de milieu de culture synthétique sont en cours d'élaboration mais cela reste difficile, car l'utilisation de promoteurs hormonaux de croissance [substances anabolisantes] est interdite dans l'Union européenne (7). Enfin, nous sommes encore loin de savoir reconstituer un semblant de muscle, composé de fibres organisées, de vaisseaux sanguins, de nerfs, de tissu conjonctif et de cellules graisseuses. »

(1) Kantar Worldpanel, 2018.

(2) Changes in red meat consumption and subsequent risk of type 2 diabetes mellitus, three cohorts of US men and women, Pan A. et al, *Jama Internal Medicine*, 2013.

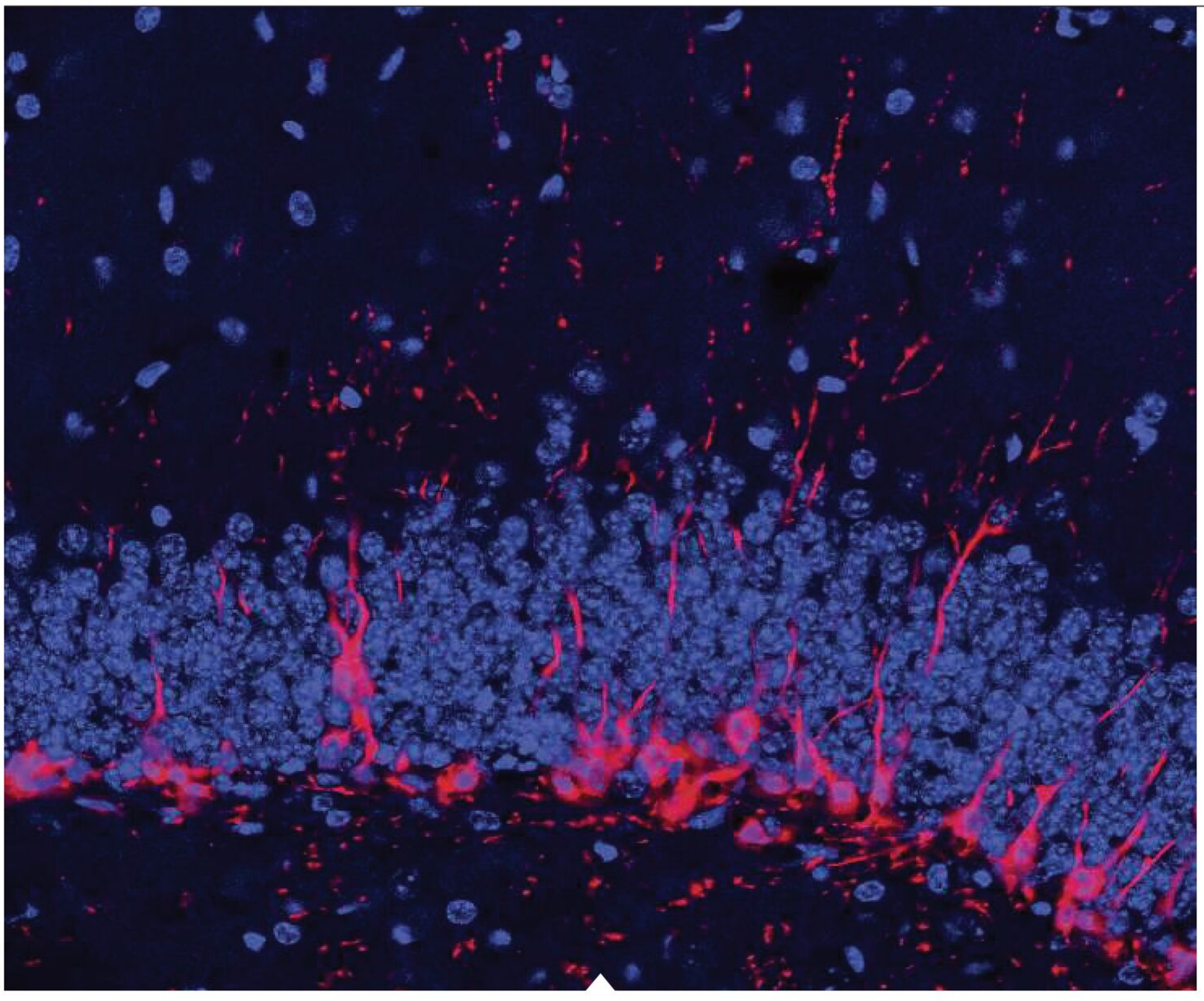
(3) Association of changes in red meat consumption with total and cause specific mortality among US women and men : two prospective cohort studies, Zheng Y. et al, *BMJ*, 2019.

(4) Diet, nutrition, physical activity and cancer : a global perspective, *WCRF*, 2018.

(5) The role of heme iron molecules derived from red and processed meat in the pathogenesis of colorectal carcinoma, Gamage SMK. et al, *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 2018.

(6) Association between meat consumption and risk of breast cancer : Findings from the Sister Study, Lo JJ. et al, *International Journal of Cancer*, 2019.

(7) The myth of cultured meat : A review, Chriki S. et al, *Frontiers in Nutrition,* 2020.



WPI-IIIS

L'hippocampe du cerveau a une capacité de régénération (nouveaux neurones adultes vus au microscope).

Les nouveaux neurones mémorisent pendant le sommeil

Les cellules récemment formées dans le cerveau adulte permettent la consolidation des apprentissages pendant le sommeil grâce à leur grande plasticité.

COMMENT SE SOUVIENT-ON par cœur d'une poésie apprise la veille ? Grâce à la participation active, pendant le sommeil, de nouveaux neurones qui naissent chez l'adulte, à en croire Masanori Sakaguchi, de l'International Institute for Integrative Sleep Medicine de l'université Tsukuba (Japon). « *Dans le cerveau adulte, les cellules ne sont pas remplacées comme c'est le cas pour les cellules du foie, du sang ou de la peau*, rappelle le chercheur. *Cependant, il existe une neurogenèse* [processus de formation] *dans notre hippocampe* [une région du cerveau où la mémoire est initialement stockée]. *Certes, cette capacité de régénération neuronale chez l'adulte est réduite, mais elle n'en est pas moins potentiellement bénéfique.* »

Si ces données étaient déjà connues, Masanori Sakaguchi est allé plus loin en expliquant comment se comportent et fonctionnent ces nouveaux neurones pendant le sommeil. Pour ce faire, lui et son équipe ont soumis des souris à un test de conditionnement à la peur afin de créer chez elles un nouveau souvenir : une répétition d'un choc modéré sur la patte après avoir entendu un stimulus auditif. L'activité des nouveaux neurones adultes était alors enregistrée *in vivo* grâce à un microscope miniature implanté sur la tête des rongeurs. Et là, surprise : ces neurones sont entrés en activité juste après le choc à la patte, mais aussi durant le sommeil suivant le conditionnement ! Plus précisément, pendant la phase de sommeil dit paradoxal, caractérisée par une paralysie du corps et des mouvements oculaires. Mieux, lorsqu'ils ont reproduit le test le lendemain, les scientifiques ont observé que ces mêmes jeunes neurones s'activaient de nouveau.

Une observation qui peut s'appliquer à l'humain

Dans une seconde étape de l'étude, les scientifiques ont inhibé ces jeunes neurones adultes par optogénétique (manipulation par la lumière). Et là, nouvelle constatation : les souris ne se souvenaient alors que vaguement de l'expérience de la veille. Preuve que les nouveaux neurones adultes, à la plasticité supérieure aux anciens, permettent donc bien l'apprentissage et la consolidation des apprentissages durant le sommeil. Qu'en est-il chez l'humain ? « *Étant donné que la neurogenèse hippocampique a été étudiée de manière assez intensive dans le cerveau humain, je n'ai aucune raison de douter que les nouveaux neurones adultes sont tout aussi nécessaires pour la consolidation de la mémoire pendant le sommeil paradoxal* », répond Masanori Sakaguchi. Avant de conclure que la compréhension approfondie de la formation, consolidation et récupération des souvenirs, « *pourrait faciliter le développement de nouveaux traitements pour les troubles de la mémoire* ». ■

Elena Sender @ElenaSender

Les voyages du SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

DOLMENS ET MENHIRS DE CARNAC

En compagnie d'Yves Coppens (*)

27 au 30 septembre 2020

YVES COPPENS
Paléontologue, professeur au Collège de France

« **J'ai 100.000 tonnes de granit sur les bras** ». Yves Coppens s'amuse du nouveau rôle qu'il a accepté d'endosser, celui de « champion » de l'inscription des alignements de Carnac au patrimoine mondial de l'Unesco. Car le site du Morbihan, en Bretagne, n'y est toujours pas : sacrée injustice quand on pense à un autre lieu célèbre pour ses mégalithes, Stonehenge, en Angleterre, honoré du précieux label depuis... 1986 ! Il explique ce que les dolmens, menhirs, cairns et autres alignements de Carnac auraient à bénéficier de cette inscription au patrimoine mondial de l'Unesco, pourquoi ce site est «sacré» et le rôle historique joué par la Bretagne - chère à son cœur... - dans l'histoire du mégalithisme.

C'est à la découverte de ces « cailloux » extraordinaires sur les rivages du golfe du Morbihan qu'Yves Coppens invite les lecteurs de Sciences et Avenir !

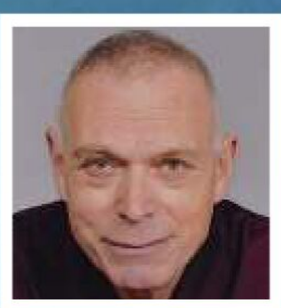
Retrouvez l'entretien complet d'Yves Coppens avec Dominique Leglu sur le site web de Sciences et Avenir : bit.ly/2tFuekq

AVEC LA PARTICIPATION DE :

BERNADETTE ARNAUD
Grand Reporteur à Sciences et Avenir

© Laurent Rannou

EMMANUELLE VIGIER
Archéologue, directrice du Musée de Préhistoire de Carnac



MARC SAUGIER
Organisateur des Voyages du Savoir

Carnac :
Le musée de Préhistoire

- 3 nuits / 4 jours en pension complète
- Prix par personne en chambre double : 975 €
- Début & fin du séjour à Auray (Morbihan)

(*) Sauf empêchement pour cas de force majeure

IM056130002

BLB TOURISME

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **BLB** TOURISME

ZONE DE KERBOIS 15, RUE YVES DE KERGUELEN 56400 AURAY

- COURRIEL : inscription@blb-tourisme.com - Tél. +33 (0) 297 566 086

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : voyages-du-savoir.fr

ACHANTA ET AL. - ISCIENCE

La carte en 3D détaillée d'un cœur de rat a permis aux scientifiques de mettre en évidence le système nerveux intracardiaque (en jaune) et ensuite d'en isoler chaque neurone pour mieux comprendre son fonctionnement.

Le cœur a son propre « cerveau »

Le système nerveux intracardiaque joue un rôle essentiel dans la modulation de l'activité de cet organe vital.

POUR LA PREMIÈRE FOIS, des chercheurs ont pu cartographier en détail « le petit cerveau » du cœur. Il s'agit d'un système nerveux intracardiaque (SNI) méconnu qui jouerait, avec les fibres innervant l'ensemble du muscle, un rôle essentiel dans la modulation de l'activité de l'organe. Une équipe américaine composée d'anatomistes, de généticiens et de bio-informaticiens a modélisé dans les moindres détails le SNI chez le rat. Les tentatives précédentes n'avaient donné que des résultats limités. « *Notre travail intègre précisément les données anatomiques et moléculaires dans un cœur entier, reconstruit ensuite numériquement en 3D avec une résolution à l'échelle du micromètre* », écrivent-ils dans la revue *iScience*. Un atlas complet qui fait apparaître le SNI au sommet du muscle cardiaque et qui doit permettre de mieux appréhender son rôle, en particulier dans les pathologies. La fonction cardiaque reste cependant pilotée par le cerveau, sous le contrôle du système nerveux autonome. La régulation complexe des battements du cœur est ainsi un dialogue constant entre les fibres nerveuses qui parcourent l'organe et certaines structures cérébrales (cortex insulaire, amygdale, hypothalamus). Mais, au niveau local, une sous-régulation entre également en jeu : « *Le contrôle autonome de la fonction cardiaque provient de plusieurs zones du système nerveux central, mais le dernier niveau de contrôle de cette fonction réside dans le SNI* », résument les chercheurs. Une structure essentielle donc, estiment-ils. Pour y voir plus clair, ils ont utilisé une technique d'imagerie appelée microscope à balayage lame de couteau (*Knife-edge scanning*). Celle-ci est destinée à produire des données haute résolution afin de reconstruire les structures cellulaires en 3D.

Un espoir pour de nouvelles thérapies

Près d'un million d'images ont ainsi été compilées pour reconstruire le cœur des rats, intégrant à la fois leurs composantes anatomiques, cellulaires et moléculaires. Ainsi, les scientifiques sont-ils parvenus à isoler individuellement des neurones sur des échantillons et à mesurer l'activité génétique dans chacun d'entre eux pour implémenter leur modèle. « *Cela a révélé la diversité complexe des types de neurones constituant le SNI* », expliquent les chercheurs. Ils ont ainsi découvert des récepteurs, des modulateurs et des neurotransmetteurs propres à ce « *cerveau du cœur* ». L'espoir ? Que la grande finesse ainsi acquise « *dans la compréhension des neurones cardiaques [ait] le potentiel pour débloquer une nouvelle génération de thérapies destinées à traiter ou prévenir toutes les formes de pathologies cardiaques* ». Ne reste plus qu'à rééditer la prouesse sur un cœur humain. ■ **Hugo Jalinière**

@HugoJaliniere

Édito

Diabète : jamais maladie chronique n'aura connu autant d'innovations !

Le Pr Hélène Hanaire est chef du service de Diabétologie, Maladies Métaboliques, Nutrition du CHU de Toulouse. Pour nous, elle revient sur les grandes avancées dans le diabète.

Et si en préambule, nous évoquions le sujet diabète en l'inscrivant dans l'actualité sanitaire ?

C'est une bonne occasion de rappeler que le diabète représente un facteur de risque de formes graves de la Covid-19 et, qu'en outre, la crise a eu pour conséquences d'écarter du système de soins de nombreux patients. Cela a provoqué des ruptures de suivi et un retard dans la prise en charge. Pour autant, l'on peut aussi dire que cette crise aura été l'occasion d'accélérer la télé-surveillance et la téléconsultation pour ceux qui ont pu en bénéficier. Pendant le confinement, les diabétologues se sont aguerris à ce mode de fonctionnement et en ont bien compris l'intérêt. L'on peut donc envisager qu'il se démocratise au bénéfice du plus grand nombre.

Doit-on de fait considérer le diabète comme une maladie grave ?

Le diabète reste une maladie grave qui continue à faire perdre des années de vie. Pour autant, il s'agit aussi d'une pathologie pour laquelle il y a eu des avancées considérables. Peu de maladies chroniques d'ailleurs ont bénéficié d'autant d'innovations tant en termes de solutions thérapeutiques que de surveillance.

Vous évoquiez des avancées significatives dans la prise en charge du patient diabétique : peut-on aller plus loin ?

Les outils de surveillance au niveau du contrôle de la glycémie ont largement évolué avec désormais des systèmes de mesure fonctionnant en continu pour les patients... Cela permet d'éviter les piqûres mais aussi d'accéder à un panorama constant de leur taux de glycémie. Nous avons désormais une vision plus informative ce qui permet aux praticiens de prendre de meilleures décisions. Cette innovation a vraiment permis un bond en avant dans la prise en charge. 400 000 diabétiques sont concernés par ce système dont plus de la moitié sont déjà équipés ! Dans le diabète de type 1, nous avançons bien sur des systèmes dits de boucle fermée : le pancréas artificiel. Désormais, certains patients peuvent être équipés d'une pompe à insuline programmable qui va se charger d'injecter plus ou moins d'insuline en fonction des résultats affichés et interprétés par ce système semi-automatisé. Couplées à d'autres données, toutes celles collectées par ce process permettront, demain, d'avancer plus encore ! Attention, toutefois car si cette évolution est notable, il ne faut pas mésestimer la charge mentale pour le patient qui doit être résolument acteur de son traitement.

Et pour le diabète de type 2 ?

Dans ce diabète, il y a eu une multiplication des classes thérapeutiques avec désormais une palette de médicaments bénéficiant de modes d'action différents et pouvant être associés. Cette possibilité est très intéressante dans le cadre d'une maladie qui évolue comme le diabète de type 2. Nous avons ainsi vu apparaître dans les dernières années de nouvelles classes de médicaments : les inhibiteurs DPP4 et les agonistes du récepteur au GLP1. Et depuis avril dernier, une nouvelle classe peut être utilisée en France, celle des inhibiteurs des SGLT2 qui ont des propriétés très intéressantes pour la gestion de la glycémie, mais aussi des bénéfices propres sur l'insuffisance cardiaque et la progression del'insuffisance rénale. ■

Les chiffres du diabète en France

Dans le monde, le diabète touche **463 millions de personnes.** En France, il est question de **3,3 millions de patients concernés**. Phénomène plus inquiétant encore : **1 personne diabétique sur 2** n'est pas diagnostiquée. Quant à cette maladie chronique très répandue, l'on parle de pandémie, sa prévalence ne cessant d'augmenter. D'ici à 2045, l'on estime à **700 millions** le nombre de personnes qui dans le monde pourront être concernés par un diabète. Non traité, il expose à des complications graves : l'infarctus, la cécité, l'insuffisance rénale et l'amputation. Chaque jour en France, ce sont **400 nouveaux cas** qui sont diagnostiqués.

Source : Fédération internationale du diabète (FID) - 9e édition de son Atlas du diabète (2019)

Dossier réalisé par **DUOMEDIAS.**
Gilles Baron 06 82 84 11 02 – gbaron@duomedias.fr
Rédaction : Victoire Lissajoux – Maquette : Sylvie Bisson

YPSOMED

Un nouveau grand pas dans **l'insulinothérapie automatisée !**

Chez les diabétiques (type 1 ou type 2), le pancréas ne produit que peu ou pas d'insuline (DT1) ou sa production est limitée par ce que l'on appelle l'insulino-résistance (DT2). Les personnes qui souffrent de cette maladie chronique dépendent donc d'une insulinothérapie adéquate afin de conserver une qualité de vie élevée et prévenir les complications à long terme.

De nombreuses personnes insulinodépendantes ou insulinorequérantes choisissent, en raison de sa commodité et de sa discrétion, une pompe à insuline plutôt qu'un traitement par stylos injecteurs ou seringues. Dans le but de proposer un traitement encore plus pratique et discret, l'industrie des dispositifs médicaux travaille sur des systèmes automatisés d'administration d'insuline (AID). Très intelligents, ces derniers connectent un système de mesure continue du glucose (MCG) avec une pompe à insuline afin que celle-ci ajuste automatiquement l'administration d'insuline en fonction des valeurs mesurées par le capteur MCG.

AID : des avancées très prometteuses

Le début du mois de mai 2020 a été marqué par de nouvelles avancées. Dexcom, le premier fournisseur mondial de systèmes MCG, et Ypsomed, le fabricant de mylife™ YpsoPump® ont conclu un partenariat pour piloter le développement d'un système hybride en boucle fermée. mylife™ YpsoPump® est une pompe à insuline de petite taille avec un fonctionnement intuitif. Grâce à ce partenariat, les utilisateurs de mylife™ YpsoPump® auront, dans un premier temps, les données de leur pompe et de leur système MCG dans l'application mylife™ App sur leur smartphone.

Un système d'alerte en temps réel

Cette innovation va ainsi leur permettre de consulter toutes les données relatives au traitement en un coup d'œil et, entre autres, d'être avertis par mylife™ App lorsque les valeurs de glucose sont trop élevées ou trop basses. Ils seront également en mesure d'envoyer leurs données de traitement sans fil sur mylife™ Cloud ainsi que de les partager avec leur médecin ou leurs soignants. Il s'agit de la première étape du programme mylife™ Loop d'Ypsomed. Dans un second temps, Ypsomed a l'intention de présenter un dispositif hybride en boucle fermée alimenté par l'algorithme TypeZero de Dexcom – et les utilisateurs de mylife™ YpsoPump® bénéficieront alors d'une insulinothérapie encore plus pratique et discrète. ■

Centre européen d'étude du Diabète

CeeD : mieux prévenir le diabète et mieux prendre en charge ses malades

Centre dédié à la lutte contre le diabète, le Centre européen d'étude du Diabète est à l'origine de la découverte des énormes propriétés des myokines dans la prévention de cette maladie chronique. Les explications du Pr Michel Pinget et du Dr Karim Bouzakri.

Pouvez-vous nous en dire plus sur les myokines ?

Il s'agit d'hormones produites par le muscle aux vertus anti-inflammatoires. Or cet aspect est très intéressant quand on sait que les personnes qui ont succombé à la Covid-19 sont décédées précisément d'un emballement inflammatoire causé par une maladie chronique préexistante. De fait, il apparaît évident que c'est en prévenant mieux ce type de pathologies que l'on pourrait éviter les récidives.

D'où l'intérêt de développer une nouvelle molécule…

Absolument, et c'est ce que nous souhaitons faire avec notre projet de start-up ILONOV qui vise à développer des médicaments issus de nos découvertes sur le muscle. Nous avons déjà démontré l'intérêt d'une telle molécule chez l'animal, reste à passer à une échelle plus large au cours de protocoles cliniques chez l'homme. Incubée par SEMIA, ILONOV est accompagnée par la Région Grand Est et peut s'appuyer sur une biobanque de cellules humaines figurant parmi les plus importantes !

La plateforme « MOON » est aussi un grand projet du CeeD : quel est l'enjeu ?

Cette plateforme a vocation à accompagner les patients diabétiques au quotidien en surveillant l'évolution des différents paramètres de leur maladie. On aime à parler de télé-suivi du

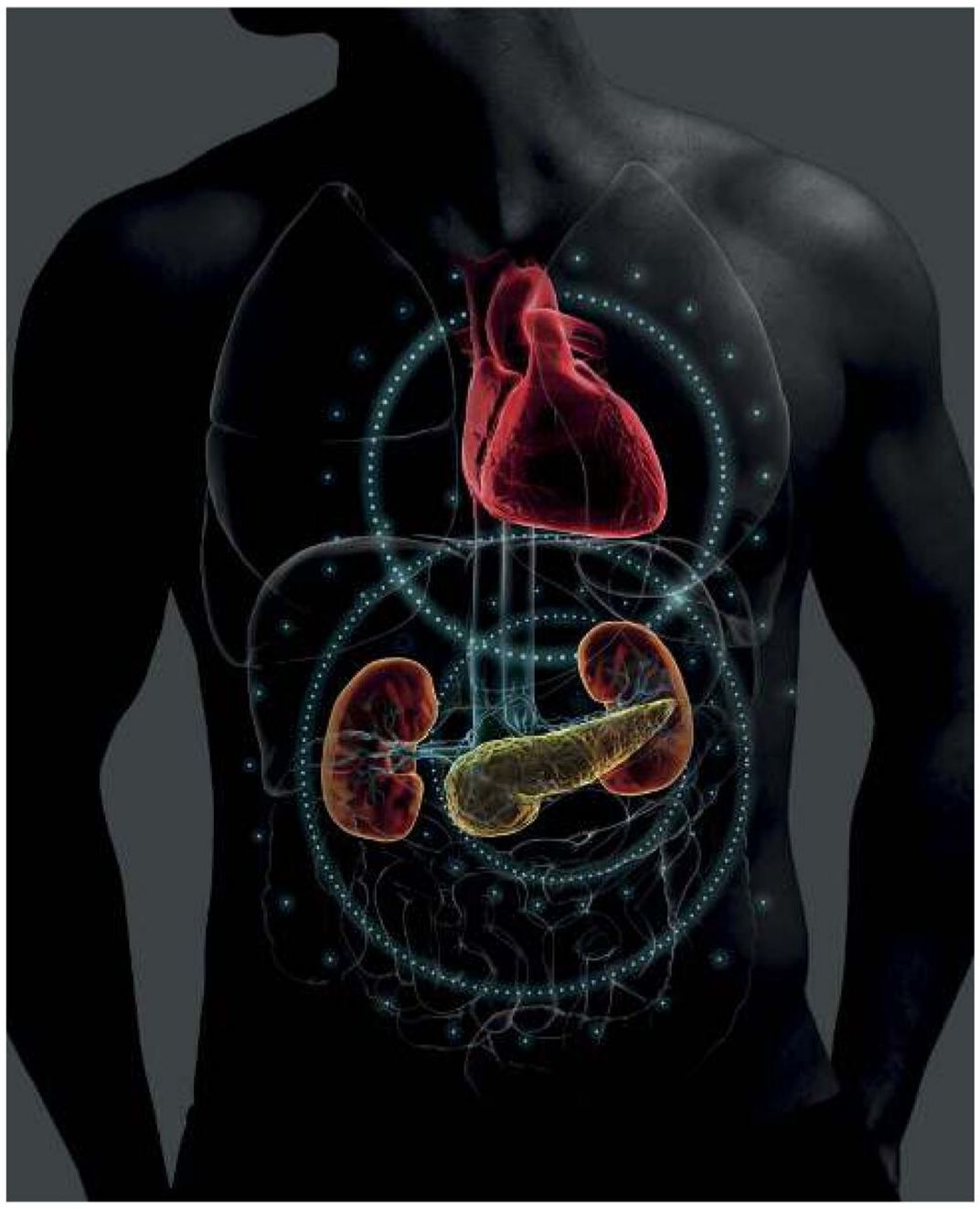
traitement mais aussi de télé-accompagnement du patient.
Sur ce projet qui s'inscrit dans une nouvelle organisation des soins pour une prise en charge plus efficiente du diabète, le CeeD s'est associé à Anova, une start-up studio spécialisée dans l'intelligence artificielle. ■

AstraZeneca

Diabète de type 2 : de l'intérêt de protéger le cœur et les reins...

Dans la prise en charge du diabète de type 2, le seul contrôle glycémique ne suffit pas. Dans cette maladie en effet, le risque de développer une insuffisance rénale ou une insuffisance cardiaque n'est pas anodin, loin de là. Le point avec le Pr. Samy Hadjadj, médecin spécialiste en endocrinologie, diabétologie et maladies métaboliques au Centre Hospitalo-Universitaire de Nantes.

© L'institut du thorax_Photo : Wilfried Antoine Desveaux



Pourquoi la prise en charge du diabète représente-t-elle un enjeu majeur de santé publique ?
Par le nombre de personnes touchées, par la progression constante et rapide de cette pathologie, mais aussi par la gravité de ses complications, le diabète de type 2 constitue un enjeu majeur de santé publique.
En effet, il est responsable de nombreuses complications, certaines bien connues des patients, et d'autres qui le sont beaucoup moins. Grâce aux progrès réalisés, l'impact des complications athérothrombotiques (infarctus du myocarde, accidents vasculaires cérébraux) a fortement été réduit ces dernières années. En revanche l'insuffisance cardiaque est aujourd'hui la principale complication cardiovasculaire chez le patient atteint d'un diabète de type 2. Et le diabète demeure l'une des principales causes de développement de la maladie rénale chronique.

D'où l'intérêt de la protection cardio-rénale, essentielle chez le patient diabétique...
Ce dont il faut avoir bien conscience, c'est que le diabète de type 2 est la première maladie chronique en France, que sa prévalence augmente avec l'âge (un homme sur cinq est concerné à partir de 75 ans) et que ses complications cardiovasculaires et rénales représentent la première cause de mortalité chez ces patients. Protéger le cœur et le rein du patient diabétique est donc un enjeu majeur.
J'ajouterais que l'insuffisance rénale et l'insuffisance cardiaque sont fréquemment associées, le rein jouant un rôle essentiel dans la physiopathologie et l'évolution de l'insuffisance cardiaque (et inversement). C'est pourquoi une prise en charge médicamenteuse capable de protéger à la fois les reins et le cœur est très intéressante.

Le seul contrôle de la glycémie n'est donc pas suffisant ?
Absolument ! Dans le diabète de type 2, l'enjeu aujourd'hui n'est plus le seul contrôle de la glycémie c'est la prévention des complications à long terme, et notamment les problèmes d'insuffisance rénale et d'insuffisance cardiaque. Et de nouveaux traitements le permettent.

Les patients diabétiques en ont-ils conscience ?
Probablement, pas suffisamment... Cela, parce que les discours qui vont vers les patients ne sont pas toujours les bons pour bien leur faire comprendre ce que doit être leur itinéraire de santé. Mais il faut dire aussi que les découvertes sur les reins et le cœur sont assez récentes. Notre défi aujourd'hui est que les patients diabétiques arrivent à surveiller leur degré de fonction rénale et qu'ils soient sensibilisés aux signes et symptômes évoquant une insuffisance cardiaque débutante, comme ils ont appris à connaître leur niveau glycémique moyen représenté par l'hémoglobine glyquée. ■

Expertise

Dr David Rosenbaum, Directeur médical de l'aire thérapeutique CardioVasculaire Rénal et Métabolisme

AstraZeneca
Objectif : prévention et guérison

« Chez AstraZeneca, l'activité de recherche et développement (R&D) a toujours eu à cœur de faire progresser la science pour réduire conjointement les risques cardiovasculaires, rénaux et métaboliques. Dans le diabète de type 2, il y a eu des évolutions considérables que nous avons suivies et accompagnées grâce à notre recherche interne. Nous avons ainsi une approche globale qui vise à à protéger les organes, à améliorer la santé cardiovasculaire en retardant l'évolution des maladies, en réduisant les risques et en luttant contre les comorbidités ».

RÉALITÉ VIRTUELLE
Environnement artificiel qui immerge le participant dans une simulation essentiellement visuelle et sonore coupée du contexte réel.

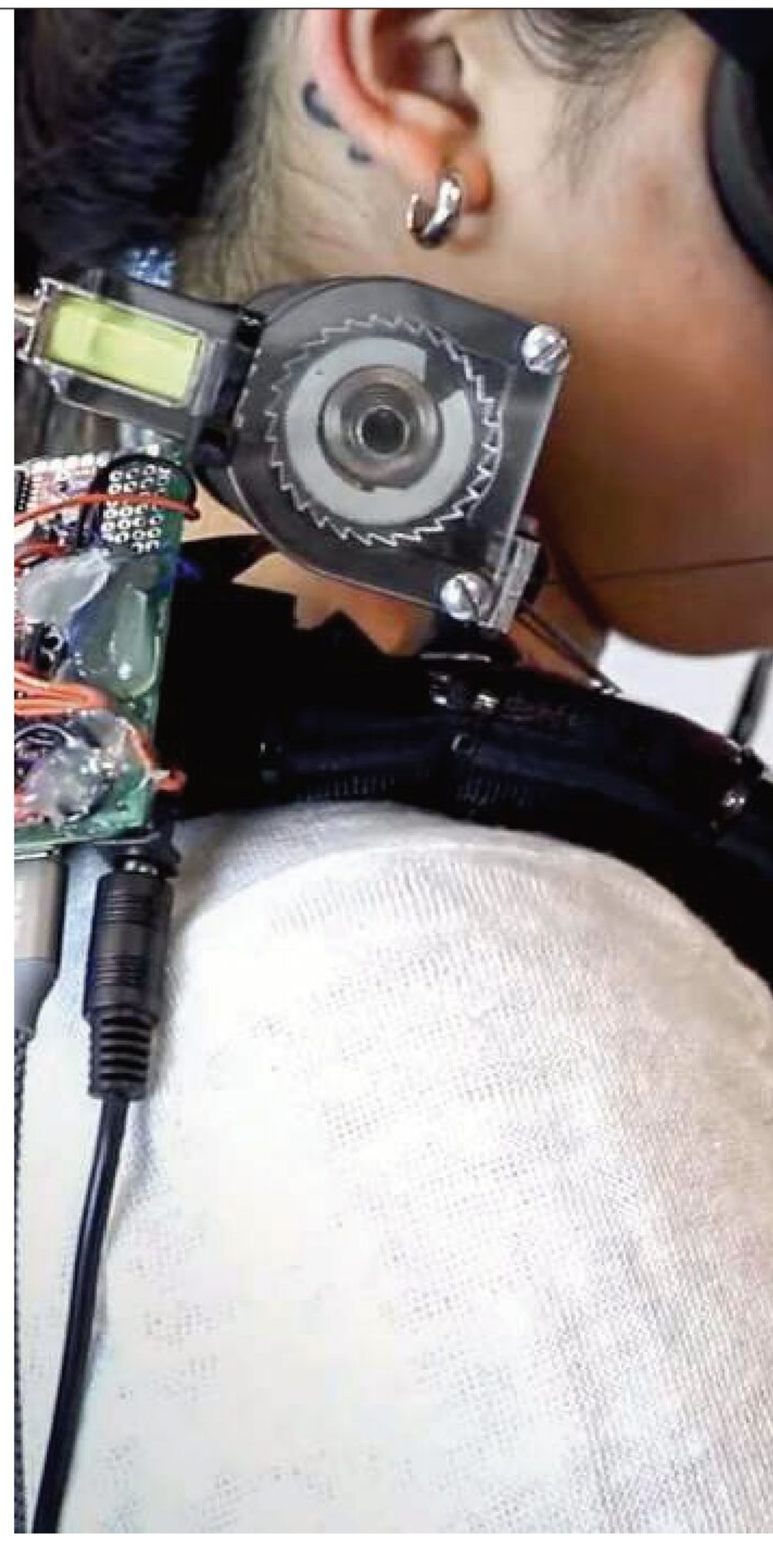
RETOUR HAPTIQUE
Envoi d'informations par le biais du toucher (du grec *haptein*, toucher) : vibration, pression, texture, préhension...

VISIOCASQUE
Casque muni d'un écran et d'écouteurs permettant de s'immerger dans un décor simulé en 3D virtuelle.

La simulation du toucher s'affine

La réalité virtuelle passe essentiellement par la vue et l'ouïe. Beaucoup plus complexe à simuler, le toucher bénéficie de nouvelles approches avec des capteurs innovants.

Arnaud Devillard A_Devila



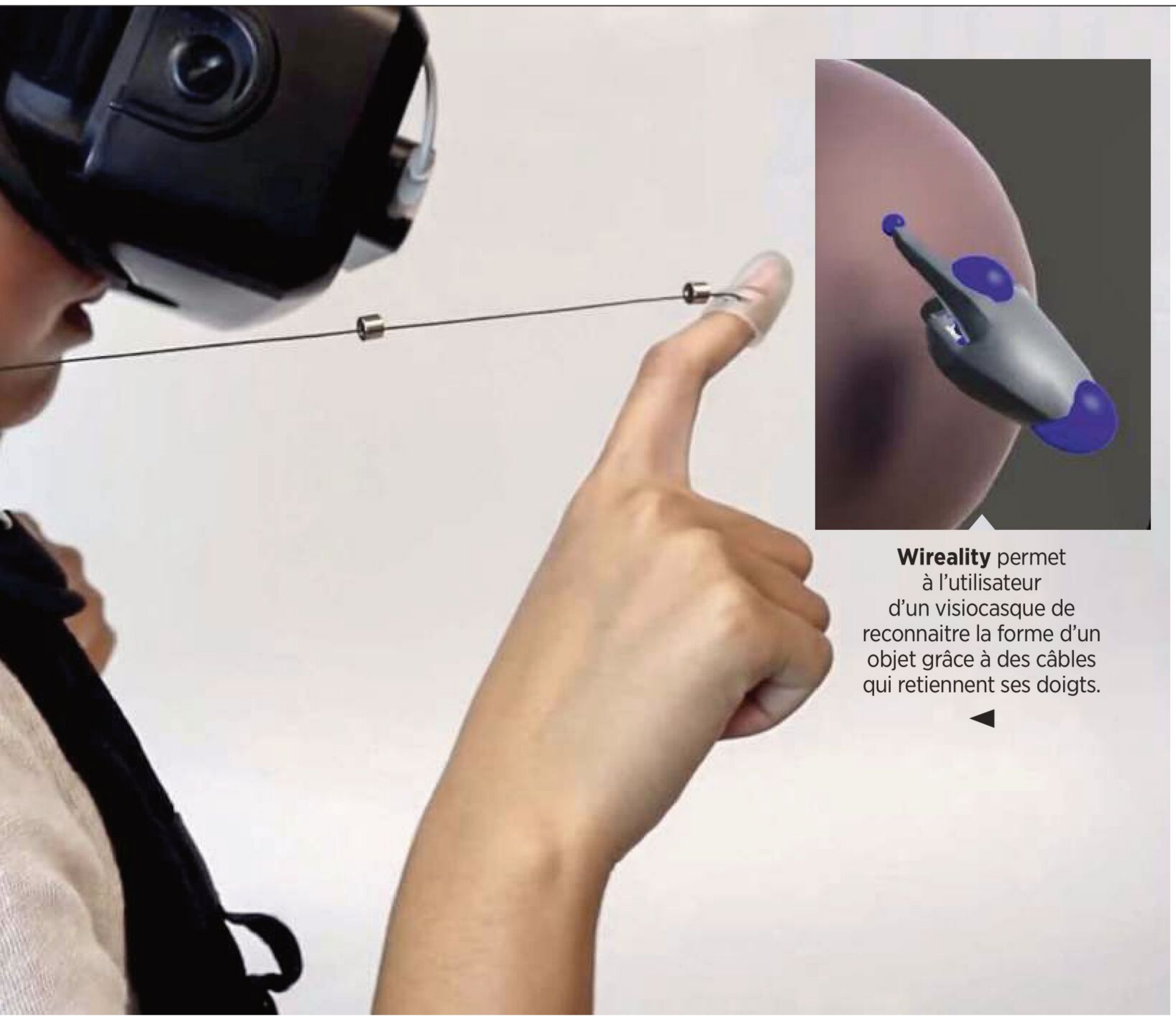
« NE PAS TOUCHER, S'IL VOUS PLAÎT. » Cette interdiction est récurrente dans les musées où il faut se contenter du regard pour apprécier une sculpture ou une poterie ancienne. Le projet de quatre chercheurs de l'université Carnegie Mellon de Pittsburgh (États-Unis) pourrait bien permettre au visiteur de braver l'interdiction sans se mettre en infraction. Face à une statue, il deviendrait possible de passer la main sur les formes, apprécier le grain de la pierre, suivre du doigt les arêtes, envelopper les volumes de ses paumes. C'est en tout cas la promesse d'un accessoire de réalité virtuelle appelé Wireality (jeu de mots sur *wire*, câble, et *reality*, réalité), présenté fin avril à la conférence annuelle CHI (Computer-human interaction) à Hawaii (États-Unis). Un mécanisme, pour l'heure tout en câbles, poulies et engrenages, qui se fixe sur l'épaule de l'utilisateur. Chaque doigt est relié à ce système par de fins filins dont l'action est synchronisée avec une expérience immersive projetée dans un visiocasque *(voir lexique ci-dessus)*. Lorsque le visiteur veut toucher l'objet qu'il observe dans son casque, les câbles se tendent afin de retenir ses doigts dans une position telle qu'ils semblent s'être posés sur l'objet. Si la main se déplace virtuellement dessus, la tension et le relâchement des filins opèrent en fonction de la position des doigts pour maintenir l'illusion qu'ils parcourent l'objet alors qu'en réalité... ils ne touchent rien.

« Nous avons mis au point une configuration à sept modules de câble pour contraindre les cinq doigts, la paume et le poignet, détaille Cathy

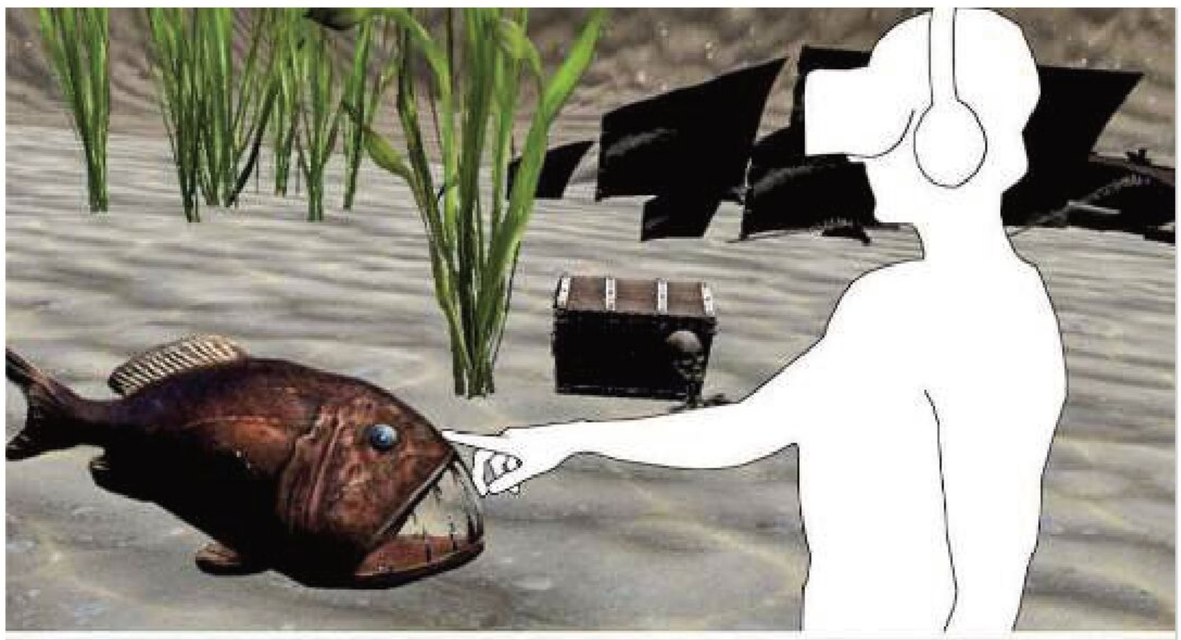
MÉCANORÉCEPTEURS

L'art délicat des sensations tactiles

Simuler une sensation tactile crédible se révèle complexe. Contrairement à la vue et à l'ouïe que les chercheurs peuvent « flouer » par le biais d'un capteur unique simulant les yeux et les oreilles, le toucher implique d'activer de multiples mécanorécepteurs situés sur la peau. Et tous ne sont pas répartis de la même manière sur le corps : ainsi, le bout de nos doigts — où le champ récepteur est de 1 à 2 mm — est bien plus sensible que notre dos (40 mm). Le toucher recouvre aussi quantité de phénomènes différents, qui peuvent se cumuler : vibration, rugosité, température, friction, pression.
Dans le réel, la main peut passer sur quantité de textures successives et les reconnaître ; en virtuel, il est encore impossible de tout simuler à partir d'une même interface.



Wireality permet à l'utilisateur d'un visiocasque de reconnaitre la forme d'un objet grâce à des câbles qui retiennent ses doigts.



VRHapticDrones simule le contact avec un poisson-pêcheur (en haut) sans porter aucun équipement aux doigts grâce à un drone recouvert de textures.

Ce patch de peau artificielle, composé de matériau flexible et d'actionneurs vibrants, améliore la sensation du toucher.

Fang, coautrice du projet et spécialiste en génie mécanique et interaction homme-machine. *C'est la meilleure combinaison, qui permet de simuler toutes sortes de formes. Wireality est surtout adapté à des objets volumineux et fixes qu'il n'est pas nécessaire de saisir, comme des barrières délimitant un espace ou des meubles.* » En outre, le système ne permet pas de « sentir » une texture particulière, juste la forme d'un objet. Il n'en reste pas moins l'une des avancées les plus prometteuses du « retour haptique », un domaine complexe dédié au rendu des sensations tactiles dans un environnement virtuel *(voir lexique)*.

L'arrivée des visiocasques a changé la donne

Cette discipline a longtemps été cantonnée à la restitution de sensations grossières, comme les accessoires à retour de force ou des bulles d'air dans une combinaison portée par un joueur qui éclatent pour simuler un impact.. Mais l'arrivée des visiocasques tels l'Oculus Rift ou le HTC Vive au milieu des années 2010 a dynamisé le secteur. Leur coût beaucoup plus abordable que les matériels disponibles jusqu'alors, leur ergonomie et surtout leur connectivité ont permis aux chercheurs de les associer plus facilement à des capteurs de mouvements spécifiques comme le *Leap Motion* (pour le suivi des doigts) et de s'affranchir peu à peu de la connexion filaire avec un ordinateur. *« Au lieu d'avoir un casque à 30 000 euros à se partager, nous pouvons désormais équiper tous les membres d'un laboratoire, y compris pour télétravailler »*, explique Anatole Lécuyer, responsable de l'équipe Hybrid de l'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique (Inria) dédiée aux interactions 3D et à la réalité virtuelle.

CARNEGIE MELLON UNIVERSITY - VRHAPTICDRNES - NORTHWESTERN UNIVERSITY -

ILLUSIONS MULTIPLES

Le pseudo-haptique ou comment « toucher avec les yeux »

Depuis le début des années 2000, Anatole Lécuyer, responsable de l'équipe Hybrid d'Inria dédiée aux interactions 3D et à la réalité virtuelle, explore ce qu'il a nommé le « pseudo-haptique ». L'idée ? Faire ressentir à une personne un signal tactile inexistant par le biais de ce qu'elle voit sur un écran. Ainsi, le chercheur fait progresser plus ou moins vite le curseur d'une souris d'ordinateur selon qu'il monte ou descend sur des galets représentés à l'écran. Le spectateur a aussitôt l'illusion que la souris « résiste » ou, au contraire, se déplace avec aisance, alors que rien ne l'affecte physiquement. De même, en grossissant ou en se réduisant, le curseur créé l'illusion du relief. Autre astuce : en laissant le doigt appuyé sur la souris, l'image se déforme, comme si le curseur s'y enfonçait. En menant cette expérience avec plusieurs images d'objets en différentes matières, le chercheur et son équipe ont ainsi réussi à faire éprouver huit niveaux de dureté différents aux participants. En 2016 déjà, l'équipe avait réalisé un dispositif immersif et interactif dans lequel le participant visionnait virtuellement ses mains, dont l'une comptait six doigts. Elle était ainsi parvenue à faire en sorte que l'utilisateur ait réellement la sensation de posséder ce doigt imaginaire… et à souffrir de sa disparition, comme celui d'un membre fantôme après une amputation.

J.C. MOSCHETTI / INRIA

En visionnant une main virtuelle à six doigts, l'utilisateur croit ce sixième doigt réel, au point de souffrir ensuite de sa perte.

Aujourd'hui, selon le chercheur, les trois quarts des projets du laboratoire relèvent du retour haptique. Les grandes manœuvres ont d'ailleurs commencé dans le secteur, la société américaine Leap Motion ayant ainsi été rachetée en 2019 par le britannique Ultrahaptics, spécialiste du retour haptique par ultrasons et renommé depuis Ultraleap. Le laboratoire de recherche en réalité virtuelle de Facebook (maison mère d'Oculus) a dévoilé quant à lui Tasbi, un prototype de bracelet générant des sensations physiques. Microsoft a mis au point plusieurs accessoires tels que Haptic Wheels, pour restituer des textures sous les doigts, et Haptic Link, qui connecte une paire de manettes de visiocasques HTC Vive pour générer l'illusion de tenir un objet à deux mains, qu'il s'agisse d'un trombone, d'un arc ou d'un fusil.

Objectif : des gants haptiques pour chirurgien

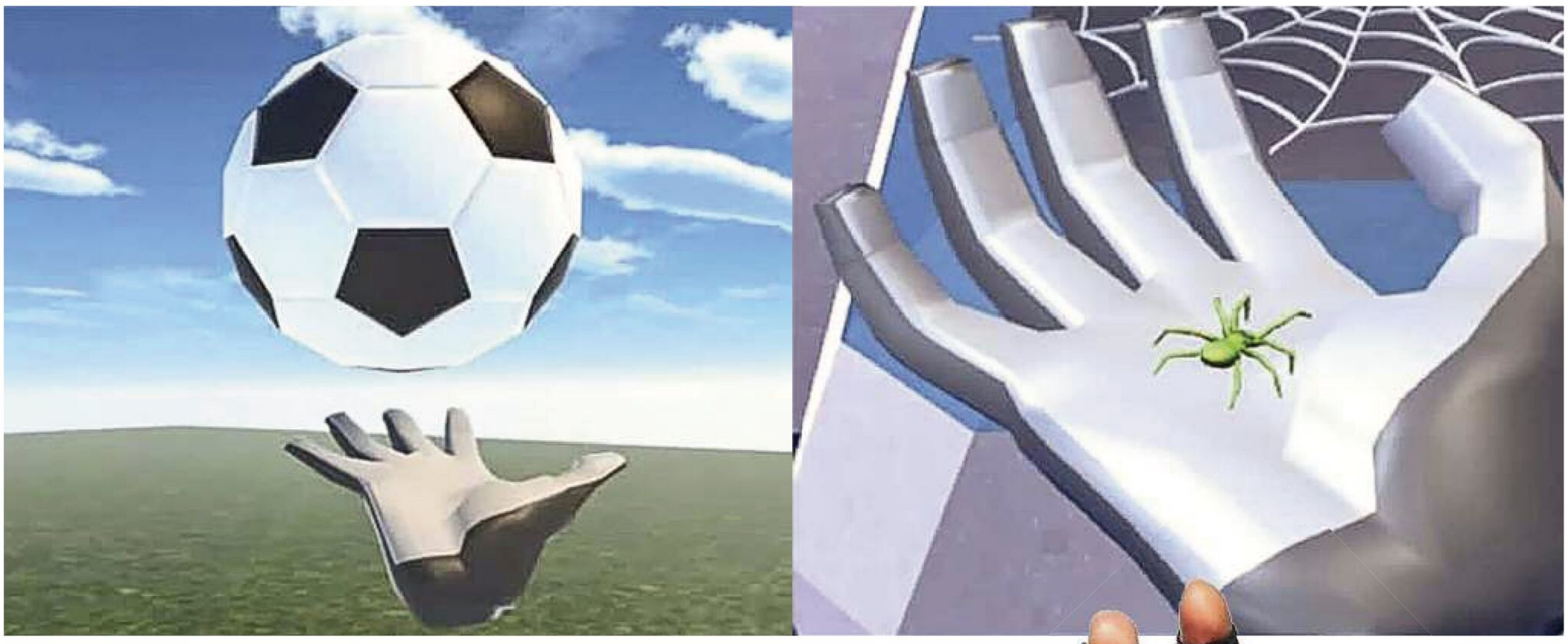
Autre avancée, la mise au point de TouchVR à l'automne 2019 par deux chercheurs de l'institut Skolkovo de sciences et technologies à Moscou (Russie). Le projet combine un casque HTC Vive, un capteur *Leap Motion*, un accessoire articulé appelé Delta-Touch attaché aux paumes des mains et des interfaces au bout des doigts. Autant d'accessoires qui permettent à l'utilisateur de ressentir la forme, le poids et la direction d'un objet virtuel censé se trouver entre les mains d'un utilisateur. « *La particularité du DeltaTouch consiste à fournir un stimulus tactile à n'importe quel endroit de la paume sans avoir besoin d'une multitude de points de contact. L'utilisateur peut ainsi ressentir précisément l'angle avec lequel une flèche virtuelle, par exemple, atteint sa main* », détaille Dzmitry Tsetserukou, l'un de ses créateurs.

Les expériences immersives conçues pour cette recherche permettent de générer dans le casque une représentation virtuelle des mains et peuvent reconstituer, entre autres, la sensation physique du rebond d'un ballon que l'on saisit, le chatouillis d'une araignée qui se déplace sur la paume ou les palpitations d'un gros œuf de dragon prêt à éclore ! « *Il est aussi possible de contrôler la sensation d'une texture en jouant avec les mouvements saccadés des moteurs qui activent le DeltaTouch* », poursuit le chercheur russe qui travaille à la mise

SKOLTECH FACULTY

« [Nous savons] fournir un stimulus tactile partout sur la paume sans multiplier les points de contact »

Dzymitry Tsetserukou, professeur à l'institut Skolkovo des sciences et techniques de Moscou (Russie), cocréateur du projet TouchR et du DeltaTouch



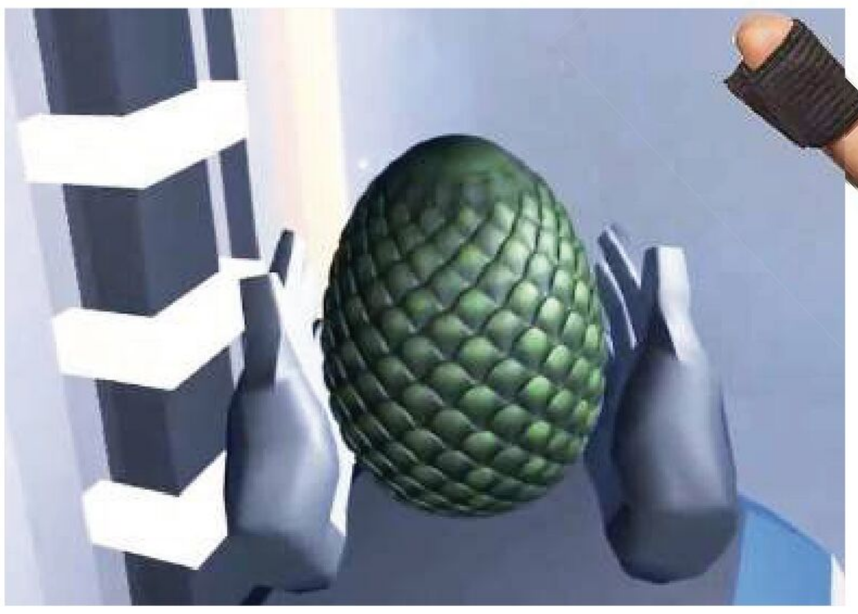
PHOTOS : SKOLKOVO INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

▲ ▼ ►

Le Delta Touch est un accessoire (en bas à droite) qui permet de ressentir l'impact d'un ballon, la course d'une araignée sur la peau ou… les tressaillements d'un œuf de dragon.

au point de gants haptiques de haute précision. Objectif : des usages en matière de chirurgie, de formation médicale, de simulation de conduite ou de robot télécommandé en environnement dangereux.

Néanmoins, TouchVR implique la contrainte — commune à la plupart des dispositifs haptiques — d'équiper l'utilisateur d'une interface, en complément du visiocasque. Mais une équipe menée par des chercheurs en informatique de l'université Louis-et-Maximilien de Munich (Allemagne) a présenté VRHapticDrones en 2018, un système prometteur dit à rencontre de surface : l'utilisateur ne porte aucun équipement ni aux doigts ni aux mains… c'est l'interface elle-même qui vient à lui. Il s'agit en l'occurrence d'un petit drone quadricoptère chargé d'accessoires et doté, comme le visiocasque, de repères pour caméra infrarouge servant à définir leurs positions dans l'espace. Ce qui permet de coordonner les mouvements du drone avec ceux de l'utilisateur au sein du cadre virtuel.



Plusieurs expériences ont ainsi été mises au point. L'une, passive, consiste à « toucher » un poisson-pêcheur. Pour ce faire, le drone est recouvert de petits panneaux imitant la texture de la peau de l'animal. Une autre, active, met en scène un requin dont le nez — simulé par un embout fixé sur le drone — vient heurter l'utilisateur. Une troisième animation, plus complexe, permet de manipuler des accessoires transportés par le drone pour donner l'illusion de fixer un ver sur un hameçon. Autant de dispositifs dont les possibilités restent limitées : le retour haptique simule une seule texture à la fois et ne permet pas de passer d'une sensation à une autre comme dans le monde réel, à moins d'utiliser plusieurs drones. Ce qui ne préoccupe pas Matthias Hoppe, coauteur de cette recherche, pour qui « *restituer la texture exacte n'est pas si important, la perception visuelle de cette même texture suffisant à simuler la bonne sensation tactile* ». C'est, en effet, l'un des nombreux mystères de la réalité virtuelle : ainsi, le simple fait de voir un élément suffit souvent à susciter des sensations haptiques que l'on s'attend à éprouver si cet objet était réel. ■

POUR EN SAVOIR PLUS

Web

- **L'expérience du sixième doigt** : sciav.fr/881sixdoigts
- **Les drones tactiles :** sciav.fr/881drones

Livre

- **Votre cerveau est un super-héros**, Anatole Lécuyer, HumenSciences, 2019.

La France prépare la guerre aérienne du futur

Le « système de combat aérien du futur » (Scaf), un programme de coopération avec l'Allemagne et l'Espagne, va redéfinir l'engagement de l'aviation. Objectif : la mise en réseau d'équipements technologiques de pointe dotés d'intelligence artificielle.

Été 2040. L'essaim de drones se dirige vers une base secrète ennemie, dont le radar est aussitôt saturé par le nombre d'engins à détecter. Il ne distingue pas l'avion de combat de dernière génération caché au sein de cette meute de robots volants autonomes. Le chasseur reçoit en temps réel les images détaillées du terrain, saisies par un satellite d'observation. L'analyse de ces données par les algorithmes d'intelligence artificielle (IA) embarqués, confirme qu'il s'agit bien d'une installation militaire hautement stratégique. Dans le cockpit, l'IA affiche les meilleures options pour détruire la cible. D'un simple regard, le pilote valide le tir d'un missile air-sol... Cette opération imaginaire dans laquelle drones, algorithmes et humains collaborent à une même mission est un aperçu de ce que pourrait être la guerre du futur. *« Une guerre de systèmes en réseau, dans laquelle le pilote d'un avion de combat devra davantage se concentrer sur la réussite de sa mission que sur le pilotage »*, commente Bruno Fichefeux, directeur chez Airbus du programme Scaf (Système de combat aérien du futur), un programme de coopération entre la France, l'Allemagne et l'Espagne. Fondé sur le combat collaboratif, le Scaf est un ensemble d'armes connectant et exploitant — grâce à l'IA — avions de combat, drones, radars, etc. Objectif : répondre aux menaces prévisibles à l'horizon 2040.

SCAF (en euros)

50 à 80 milliards
budget total estimé
(source : Challenges*).*

65 millions
attribués en février 2019 à Dassault et Airbus pour définir les grandes lignes (contrat d'architecture et de concept).

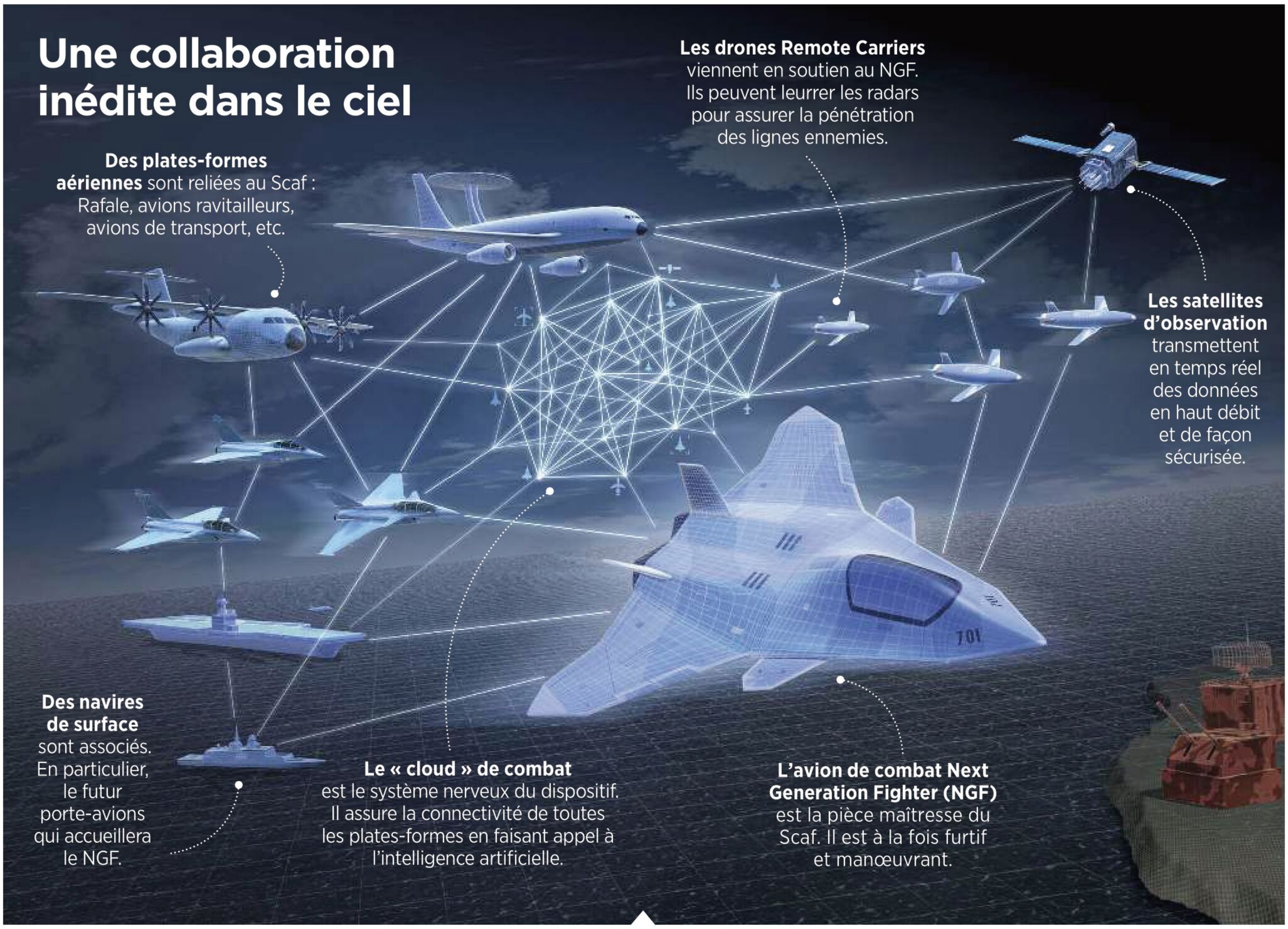
150 millions
attribués en février 2020 pour la première phase des travaux industriels de recherche et technologie (durée 18 mois) de la phase de conception des démonstrateurs.

Des informations sensibles et fortement protégées

Le cœur du Scaf est le « système d'arme nouvelle génération » ou NGWS (Next Generation Weapon System) constitué de trois éléments : un nouvel avion de combat susceptible d'être converti en drone (New Generation Fighter ou NGF) ; de nouveaux drones (Remote Carriers ou RC) ; et un « nuage de combat » (Air Combat Cloud ou ACC). Ce dernier met en réseau ces nouvelles « plates-formes » (NGF et RC) avec les autres composants du Scaf : des avions de combat comme le Rafale — qui restera opérationnel bien au-delà de 2040 —, des avions ravitailleurs, des missiles, des satellites, des navires, etc. L'ACC servira à stocker, traiter, analyser et partager les informations collectées, sensibles et fortement protégées. *« Nous réalisons déjà des communications par laser entre satellites avec notre système SpaceDataHighway et avons testé des liens entre un satellite et un avion. Nous réfléchissons à ce type de communication dans le programme Scaf car le laser permet de transférer rapidement de gros volumes de données, de l'ordre de 2 gigabits par seconde, tout en étant quasiment impossible à brouiller et à intercepter »*, explique Bruno Fichefeux. Si le futur chasseur est la pièce maîtresse de ce dispositif, en opération il devra aussi compter sur le soutien des différents drones. *« Certains seront "consommables" et pourront servir de leurre ou détruire des cibles, d'autres seront capables de revenir à leur base »*, poursuit l'expert. Toute la difficulté du programme étant bien sûr de prévoir ce que seront les menaces en 2040 et au-delà *(lire l'interview du général Breton p. 113)*. *« Nous prévoyons une augmentation des attaques cyber, l'arrivée des missiles hypersoniques* [vitesse supérieure à Mach 5] *et des cibles, notamment des avions, de plus en plus furtives. Tout cela influence l'architecture du Scaf dont la configuration doit s'adapter en fonction de la menace »*, explique l'ingénieur en chef de l'armement architecte du programme Scaf à la Direction générale de l'armement (DGA)*. L'idée étant d'ajuster ainsi la force selon les missions : plus

AIRBUS DEFENCE AND SPACE

« Certains drones seront "consommables" et pourront servir de leurre ou détruire des cibles »
Bruno Fichefeux, directeur chez Airbus du programme Scaf.



À l'horizon 2040, le conflit ressemblera à une guerre de systèmes en réseau mêlant les technologies aériennes, maritimes et terrestres.

ou moins de NGF, de Rafales, de drones, etc. « *Le Scaf sera aussi capable de se reconfigurer en temps réel. Par exemple, en cas de perte d'un avion de combat, nous pourrons réaffecter ses missions à d'autres équipements et plates-formes déjà engagés au sein de la patrouille* », précise l'ingénieur en chef.

Trouver le bon dosage entre furtivité et manœuvrabilité

Les études préliminaires, notifiées par la DGA, ont été lancées il y a un peu plus d'un an à travers une coopération entre la France, l'Allemagne et l'Espagne, avec des industriels tels que Dassault, Airbus, Thales, Safran, MTU ou encore MBDA. Chaque pays aura en effet son propre Scaf mais partagera le même « cœur », c'est-à-dire le nouvel avion de chasse NGF, les drones RC et le nuage de combat ACC. Un contrat de 18 mois portant sur un montant de 150 millions d'euros a d'ailleurs été signé le 20 février 2020 entre les gouvernements français et allemand pour lancer la conception des démonstrateurs (NGF, RC et ACC) dont les premiers essais en vol devraient débuter en 2026. La forme du NGF n'est pas encore arrêtée. L'un des défis étant de trouver le bon dosage entre furtivité et manœuvrabilité. « *La furtivité est un élément clé mais elle n'est pas suffisante. Elle permet, certes, à l'engin de rester discret, et donc de ne pas être touché par les défenses adverses. Mais je préfère parler de "survivabilité" de l'aéronef, qui en plus de sa furtivité, doit avoir la capacité d'être manœuvrant* », explique l'ingénieur en chef de l'armement. En effet, pour rendre un avion furtif, il est nécessaire, entre autres, de supprimer au maximum les surfaces susceptibles de renvoyer des ondes radar vers le sol. D'où la disparition de l'empennage (dérive), cet aileron vertical dressé à l'arrière de l'avion, souvent remplacé par deux dérives aplaties comme cela apparaît sur la maquette très préliminaire du NGF présentée au salon du Bourget en juin 2019. Problème : ces modifications peuvent réduire ▸

O.RAVENEL/ARMÉE DE L'AIR

INTERVIEW

GÉNÉRAL JEAN-PASCAL BRETON

RESPONSABLE OPÉRATIONNEL DU SYSTÈME DE COMBAT AÉRIEN DU FUTUR SCAF.

« Il faut prévoir l'imprévisible et s'y préparer »

Comment prévoir ce que seront les menaces dans 20 ans ?
Nous réfléchissons depuis longtemps à la guerre du futur. 2040, c'est déjà demain. Les besoins dans 20 ans sont clairs, du moins les grandes tendances, même s'il faut rester vigilants. Nous travaillons sur des « bibliothèques de menaces ». Nous voyons ainsi l'émergence du « multidomaine » dans les opérations : cela ne se passe plus simplement sur terre, en mer ou dans l'air, mais aussi dans l'espace et le cyber. Tout est imbriqué. Chaque action a un effet dans un domaine connexe.

Quelle est la difficulté majeure de cette analyse prospective ?
Prévoir l'imprévisible et s'y préparer en essayant d'identifier les ruptures possibles dans chaque domaine et leur impact. Dans la vision opérationnelle, on réfléchit toujours à la détection et à l'action la plus rapide possible mais aussi au partage et au management des informations. Avec des ruptures comme l'hypervélocité, la furtivité, l'intelligence artificielle, le quantique et d'autres, l'augmentation du tempo complique sérieusement la tâche.

Comment concilier l'intelligence artificielle, qui sera omniprésente et l'éthique ?
La doctrine reste la même : l'humain dans la boucle. Les décisions importantes, qui engagent notamment la vie humaine, sont prises par l'homme. Nous considérons que c'est aussi la solution la plus efficace. Par exemple, en temps de paix, les principales missions des avions de combat sont la surveillance du territoire. Si un avion de ligne ne répond pas à la radio, il est préférable d'envoyer un avion de combat avec un pilote à bord plutôt qu'un drone. Enfin, sous l'impulsion de la ministre des Armées, une commission éthique a été créée en France pour réfléchir à ces questions et orienter, si besoin, les choix technologiques. **Propos recueillis par O. H.**

LOCKHEED MARTIN

Les « bibliothèques de menaces » anticipent des risques comme des cibles plus furtives, des attaques cyber ou, ici, un missile hypersonique *(vue d'artiste)*.

▸ la manœuvrabilité des avions de chasse. « *Il faut donc trouver le meilleur compromis possible. Plutôt que d'avoir un appareil qui sait tout faire, il est préférable qu'il soit très bon dans certains domaines et que ses performances soient complétées dans d'autres par des plates-formes de très petites dimensions, les rendant ainsi intrinsèquement plus discrètes. Ou par des dispositifs de guerre électronique embarqués sur le NGF destinés à aveugler les radars* », poursuit l'expert.

L'IA est un autre élément clé dans cette guerre du futur. Elle sera présente à tous les niveaux et plus particulièrement au sein du nuage de combat. « *L'IA pourra agréger et analyser toutes sortes de données afin d'en tirer des informations utiles. Par exemple, si un NGF se trouve face à un avion de chasse ennemi, l'IA va identifier cet adversaire, dont le décollage depuis telle base aura été repéré quelques minutes auparavant. Or, on sait que les pilotes de la base en question sont plutôt jeunes donc peu expérimentés. L'IA pourra en déduire le comportement probable de l'avion ennemi* », explique Bruno Depardon, directeur de la stratégie chez Thales. Enfin, le Scaf est pensé pour être évolutif. Il intégrera de nouvelles technologies, voire des ruptures, comme l'informatique quantique dont les capacités de calcul pourraient compromettre le chiffrement des données ou des communications. Or, le nouvel avion de combat devra être conçu pour rester en service pendant une cinquantaine d'années. Un défi colossal. Car s'il est possible de prévoir, avec plus ou moins de fiabilité, l'état des technologies en 2040, qui peut dire ce qu'il en sera en 2070 ? ■

Olivier Hertel
@OlivierHertel

> Le Scaf est pensé pour être évolutif. Il intégrera de nouvelles technologies, voire des ruptures, comme l'informatique quantique

* Pour raison de sécurité, l'identité de l'ingénieur en chef de l'armement doit rester confidentielle.

L'œil bionique prêt à surpasser la vision humaine

Ce globe oculaire artificiel cumule les innovations, dont une rétine synthétique dotée de 460 millions de capteurs nanométriques.

IL A TOUT D'UN VRAI, OU PRESQUE. L'œil artificiel mis au point à l'Université des sciences et technologies de Hong Kong est la meilleure reproduction fonctionnelle des différentes structures et des caractéristiques de l'optique humaine. Il pourrait un jour aboutir à des prothèses high-tech pour malvoyants, ou être utilisé dans la robotique humanoïde, selon les auteurs de l'article publiée dans *Nature*.

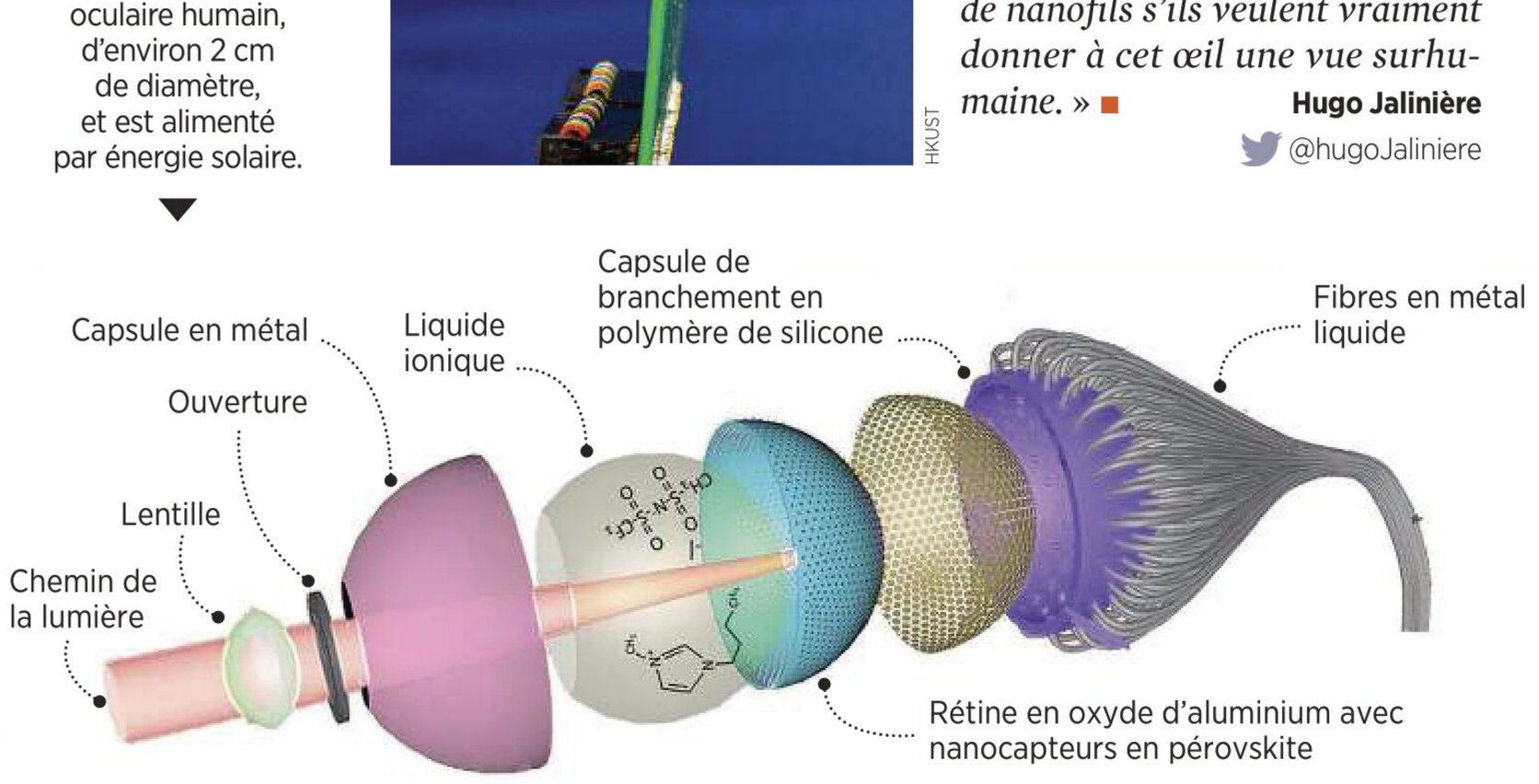
À l'instar de l'œil humain, il possède une lentille destinée à laisser passer la lumière et d'un iris artificiel percé en son centre qui se contracte ou se rétracte en fonction de la luminosité. Fonction que l'œil artificiel remplit déjà mieux qu'un vrai, puisqu'il réagit aux changements d'éclairage dans un délai d'environ 30 à 40 millisecondes, contre 40 à 150 millisecondes chez l'humain !

Mais la véritable prouesse de ces travaux, c'est la rétine synthétique réalisée par les ingénieurs. Cette membrane qui tapisse le fond du globe oculaire est l'organe sensible de notre vision, chargé de traduire l'information lumineuse en signaux électriques ensuite transmis au cerveau par le nerf optique. L'équipe hongkongaise a utilisé une membrane en oxyde d'aluminium permettant de reproduire la courbure naturelle de la rétine. Un paramètre essentiel puisque c'est cette forme en dôme qui confère à l'œil humain sa résolution mais aussi son champ de vision d'environ 150°. Ainsi, alors que les capteurs plans ordinaires voient à 70°, l'œil bionique atteint les 100° !

Selon les auteurs de l'étude, le dispositif serait capable à terme d'assurer une vision bien plus nette que celle des humains. De fait, alors que notre rétine dispose d'environ 10 millions de cellules photoréceptrices, la membrane synthétique intègre 460 millions de capteurs sous forme de nanofils de pérovskite, un matériau photosensible aussi utilisé pour les panneaux photovoltaïques. Ce qui permet d'ailleurs au dispositif d'être alimenté par l'énergie solaire.

HKUST

Le dispositif, monté sur une carte de circuit imprimé (en vert), reprend l'allure et la taille du globe oculaire humain, d'environ 2 cm de diamètre, et est alimenté par énergie solaire.



HKUST

Les signaux sont transmis à une machine qui les décode

Pour afficher effectivement les images, l'œil est connecté à un circuit externe par des fils en métal liquide scellés dans des tubes en caoutchouc souple. Ces derniers permettent de transmettre les signaux des photocapteurs à une machine qui les décode en image. Comme le font les fibres nerveuses qui relient l'œil humain au cerveau. Toutefois, dans un commentaire également publié par *Nature*, Hongrui Jiang, ingénieur électricien à l'université du Wisconsin-Madison (États-Unis) prévient que « *la méthode actuelle pour créer des pixels individuels ultrapetits fonctionne pour quelques centaines de nanofils, mais qu'en est-il s'il faut en raccorder plusieurs millions ? Les ingénieurs devront trouver un moyen plus efficace pour fabriquer ces vastes réseaux de nanofils s'ils veulent vraiment donner à cet œil une vue surhumaine.* » ■

Hugo Jalinière
@hugoJaliniere

La moitié de la partie inférieure est recouverte de cellules photovoltaïques pour fournir l'électricité, l'autre moitié étant recouverte de radiateurs pour assurer la régulation thermique du vaisseau.

Les huit moteurs-fusées SuperDraco montés sur les côtés doivent servir à l'éjection de la capsule en cas de défaillance du lanceur.

Seize propulseurs assurent le contrôle d'attitude et les manœuvres orbitales.

Les quatre hublots sont plus grands que ceux des vaisseaux antérieurs.

Sur le tableau de bord, des écrans plats tactiles ont remplacé les boutons et les manettes pour l'ensemble des données et des commandes. L'espace pressurisé de 9,3 m² peut accueillir 4 astronautes.

D'ordinaire larguée dans l'espace, la coiffe protégeant l'écoutille demeure solidaire du véhicule, ce qui permet sa réutilisation.

Crew Dragon est conçue pour s'arrimer de manière autonome à l'ISS, comme le vaisseau cargo européen ATV, qui a réalisé la manœuvre cinq fois entre 2008 et 2014.

Dessinée par le costumier de Hollywood José Fernandez et inspirée de l'univers Marvel, la nouvelle combinaison est plus légère que son équivalent russe. Le casque est imprimé en 3D et les gants sont compatibles avec les écrans tactiles.

Crew Dragon réinvente le vol habité

La capsule conçue par SpaceX a rallié sans encombre l'ISS avec deux astronautes américains à bord.

VOICI EN DÉTAIL à quoi ressemble Crew Dragon, le premier « taxi spatial » privé à s'être arrimé à la Station spatiale internationale. Il a quitté la Terre le 30 mai, depuis le centre spatial Kennedy, en Floride, le même pas de tir d'où étaient parties il y a un demi-siècle les missions Apollo et, en 2011, la navette spatiale pour son dernier vol. Entièrement conçue par SpaceX, la société de l'entrepreneur Elon Musk, la mission de Crew Dragon marque le retour au vol habité des Américains depuis leur sol, après neuf ans d'absence. À 21 h 22, les deux astronautes de la Nasa Bob Behnken et Doug Hurley ont décollé à bord de la capsule propulsée par une fusée Falcon 9. Comme prévu, le premier étage du lanceur est revenu se poser sur une plate-forme en mer pour une réutilisation ultérieure. Après sa mise en orbite à 400 kilomètres d'altitude, la capsule baptisée Endeavour a poursuivi sa route vers l'ISS, qu'elle a rejoint avec succès après dix-neuf heures de vol. Comparée aux russes Soyouz, qui effectuent la desserte de l'ISS de manière routinière depuis plus de vingt ans, la capsule américaine arbore un design largement modernisé, que l'on retrouve jusque dans la combinaison des astronautes. ■

Sylvie Rouat @srouat1

NASA/SPACEX - AFP - NASA/DIMITRI GERONDIDAKIS

Des détecteurs de fumée pour crier au feu !

Obligatoires, ces appareils qui visent à prévenir les accidents domestiques ne cessent de se perfectionner. Les modèles haut de gamme misent sur la multiplication des fonctionnalités.

POUR PRÉVENIR LES INCENDIES DOMESTIQUES — 250 000 par an en France —, la loi dite Morange (du nom du député Pierre Morange) a rendu obligatoire dans chaque foyer l'installation de détecteurs de fumée en 2016. Selon un sondage réalisé par l'assureur Matmut, si ces appareils sont aujourd'hui présents dans près de 90 % des foyers, ils sont aussi souvent mal positionnés *(lire l'encadré)* et ne sont régulièrement dépoussiérés que par 41 % de leurs propriétaires, ce qui limite leur efficacité et leur longévité.

En France, tous les détecteurs de fumée fonctionnent grâce à un dispositif optique *(voir l'infographie)*. Pour se démarquer des modèles d'entrée de gamme disponibles pour quelques euros, certains constructeurs misent sur la multiplication des fonctionnalités dans des produits dont le prix peut atteindre 150 euros. À commencer par l'autonomie : des piles au lithium assurent ainsi jusqu'à dix ans de fonctionnement alors que la réglementation ne requiert qu'un an, ce qui correspond aux capacités des piles alcalines. Et ce n'est pas tout : les modèles proposés par les sociétés américaine Nest (propriété de Google depuis 2014) ou les allemandes Bosch et Eve (dont les produits sont compatibles avec la suite domotique d'Apple Homekit) ou encore la française Netatmo envoient à leurs propriétaires des notifications sur leur smartphone afin de les informer d'une alarme.

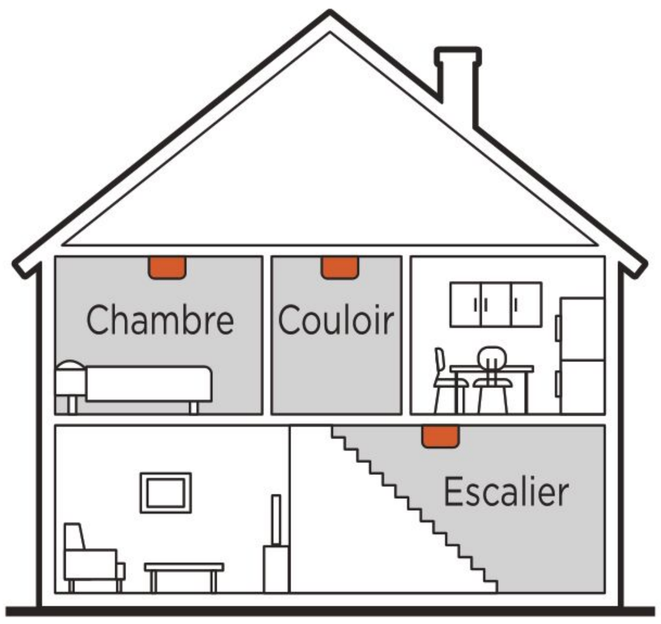
Surtout, les fabricants proposent souvent l'intégration d'autres capteurs, par exemple d'humidité, de température ou de monoxyde de carbone (CO). Invisible et naturellement inodore, ce gaz toxique peut notamment être émis par une chaudière ou une cuisinière à gaz défectueuses. Le fonctionnement des détecteurs de CO — non obligatoires bien que les intoxications soient souvent mortelles — repose le plus souvent sur une cellule électrochimique qui oxyde le gaz, produisant un courant électrique à l'origine du déclenchement de l'alarme *(voir l'infographie)*. Parmi les autres technologies de détection : une pastille de gel qui change de couleur en oxydant le monoxyde de carbone, doublée d'une cellule photoélectrique qui détecte ce changement, ou encore des oxydes métalliques qui réagissent avec le monoxyde de carbone dégageant de la chaleur, mesurée par un capteur de température.

Enfin des détecteurs de fumée spécifiques ont été imaginés pour les personnes malentendantes : au lieu de sonner, ils émettent un flash lumineux comparable à celui d'un stroboscope, et peuvent être doublés d'un générateur de vibrations à placer sous un oreiller. ■

Muriel de Véricourt

85
décibels
C'est l'intensité minimale que doit générer l'alarme, notamment afin de pouvoir réveiller une personne endormie.

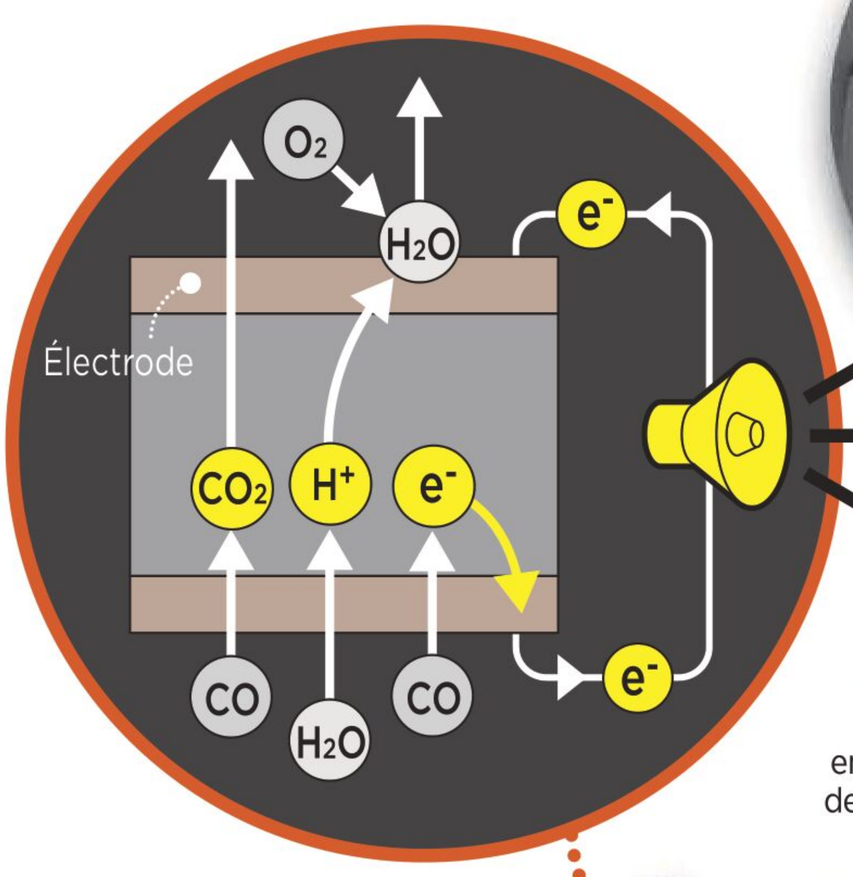
BRUNO BOURGEOIS POUR S. ET A.

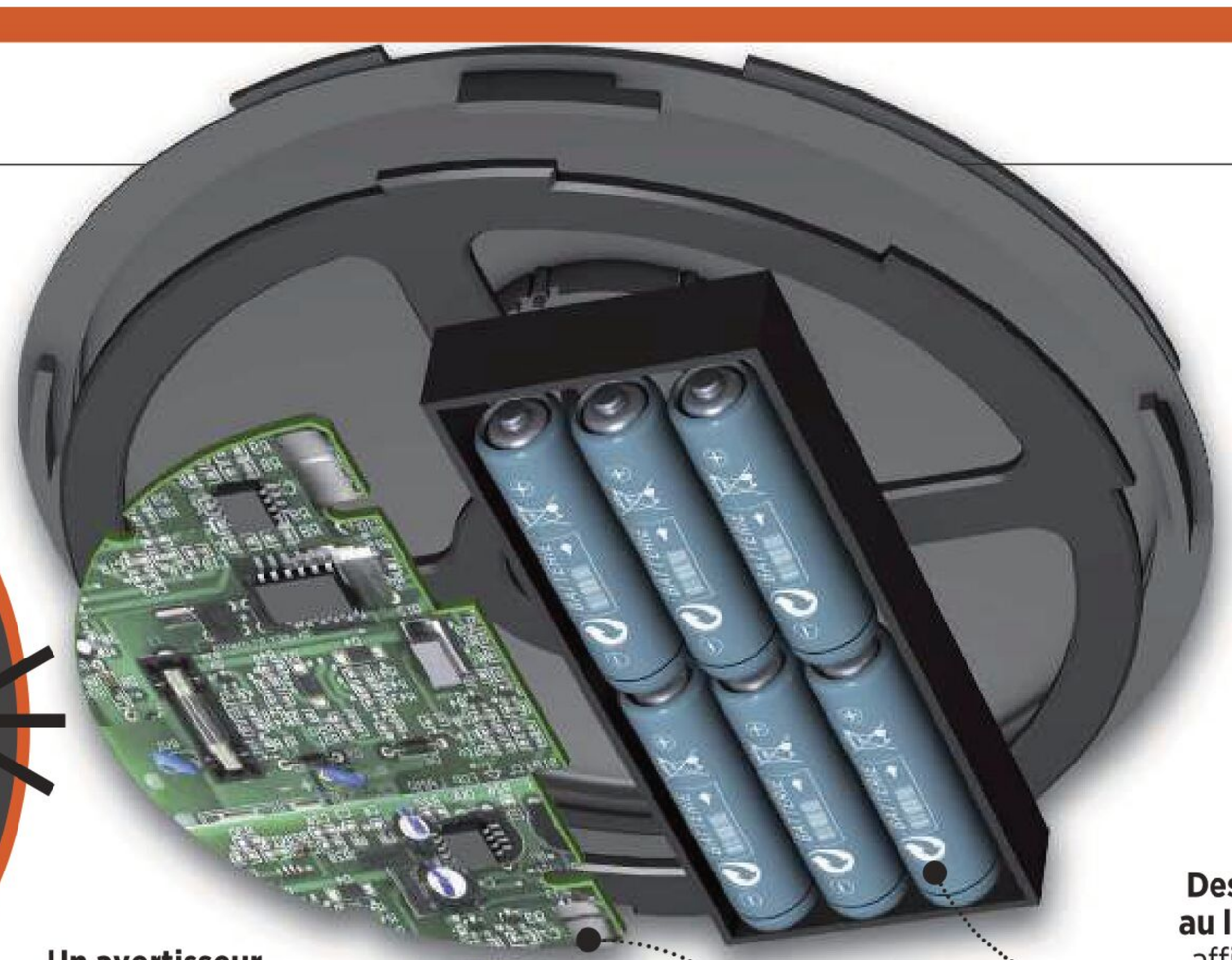


IMPLANTATION

Où placer son boîtier

La fumée ayant tendance à monter, il est conseillé de placer les détecteurs au plafond, en évitant les pièces dans lesquelles ils pourraient avoir tendance à se déclencher de manière intempestive, comme la cuisine ou la salle de bains. Emplacement recommandé : un couloir desservant plusieurs chambres. Pour les habitations de grande taille, il existe des modèles dits interconnectables ou radio, reliés entre eux par radiofréquence. Lorsque l'un d'eux détecte un dégagement de fumée, il se déclenche et fait sonner également les autres. Quant au monoxyde de carbone, sa densité est comparable à celle de l'air ambiant. Les modèles qui ne détectent que ce seul gaz peuvent donc être placés au mur ou sur un meuble.





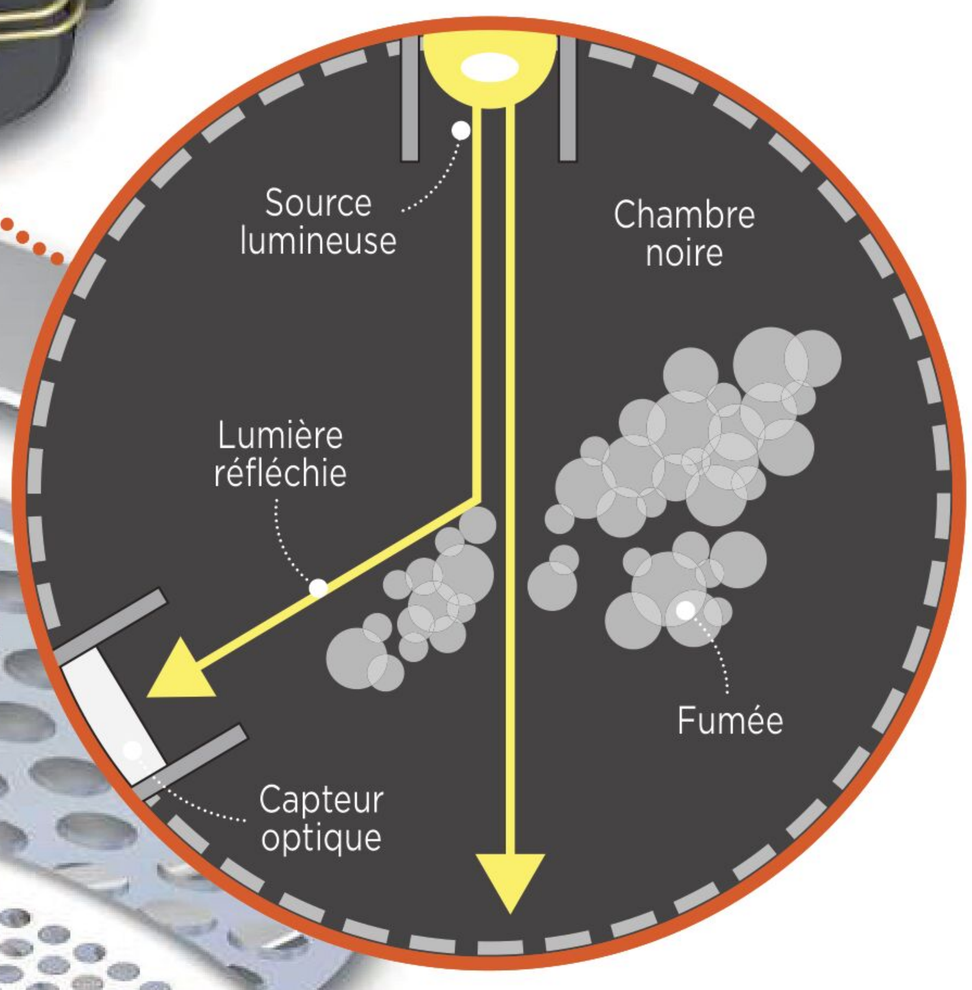
Des piles au lithium affichent une longévité d'une dizaine d'années.

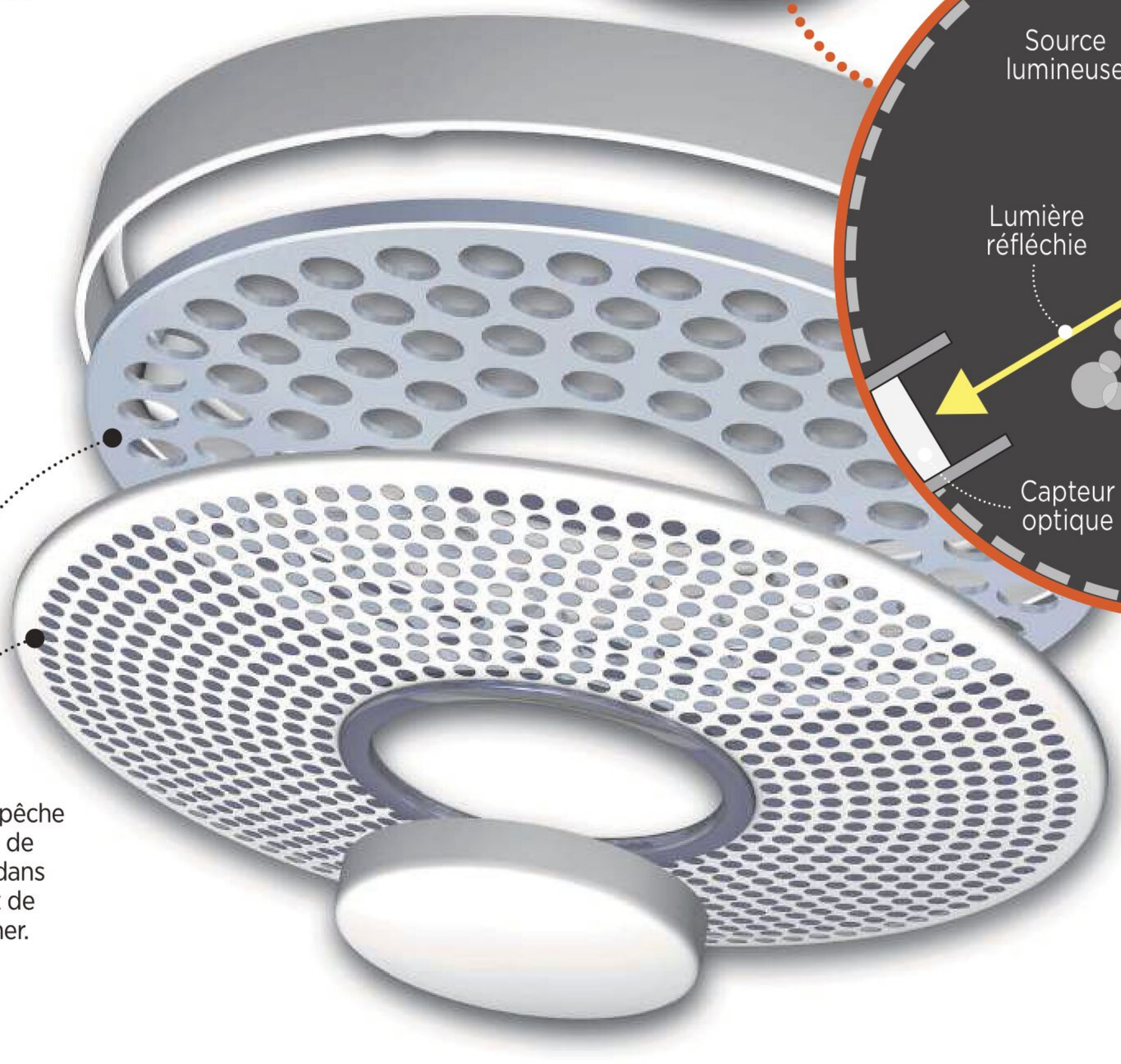
Un avertisseur sonore retentit en cas de détection de fumée ou de gaz.

Un microprocesseur traite les informations issues des capteurs et, le cas échéant, déclenche une alarme.

Détecteur de monoxyde de carbone

Ce capteur contient une solution aqueuse qui oxyde le gaz, produisant les électrons d'un courant électrique dont la mesure par l'appareil déclenche l'alarme.





Une grille empêche les insectes de s'introduire dans l'appareil et de le déclencher.

Détecteur de fumée

Ce capteur lumineux intègre une diode électroluminescente (LED) qui émet un faisceau de lumière, dévié en cas de présence de particules de fumée. Une photodiode capte la lumière ainsi réfléchie et déclenche l'alarme.

LE CIEL DE JUILLET

Où sont les planètes ?

MERCURE
La petite planète passe en conjonction inférieure le 1er et atteint sa plus grande distance angulaire (20°) à l'ouest du Soleil le 22. Elle est observable en seconde quinzaine dans les lumières du levant.

VÉNUS
L'étincelante étoile du Berger, dans la constellation du Taureau, s'éloigne peu à peu des lueurs de l'aube et voit ses conditions d'observation s'améliorer nettement au fil des semaines. Le 1er , elle se lève 1h50 avant l'astre du jour et 3h15 avant lui 30 jours plus tard.

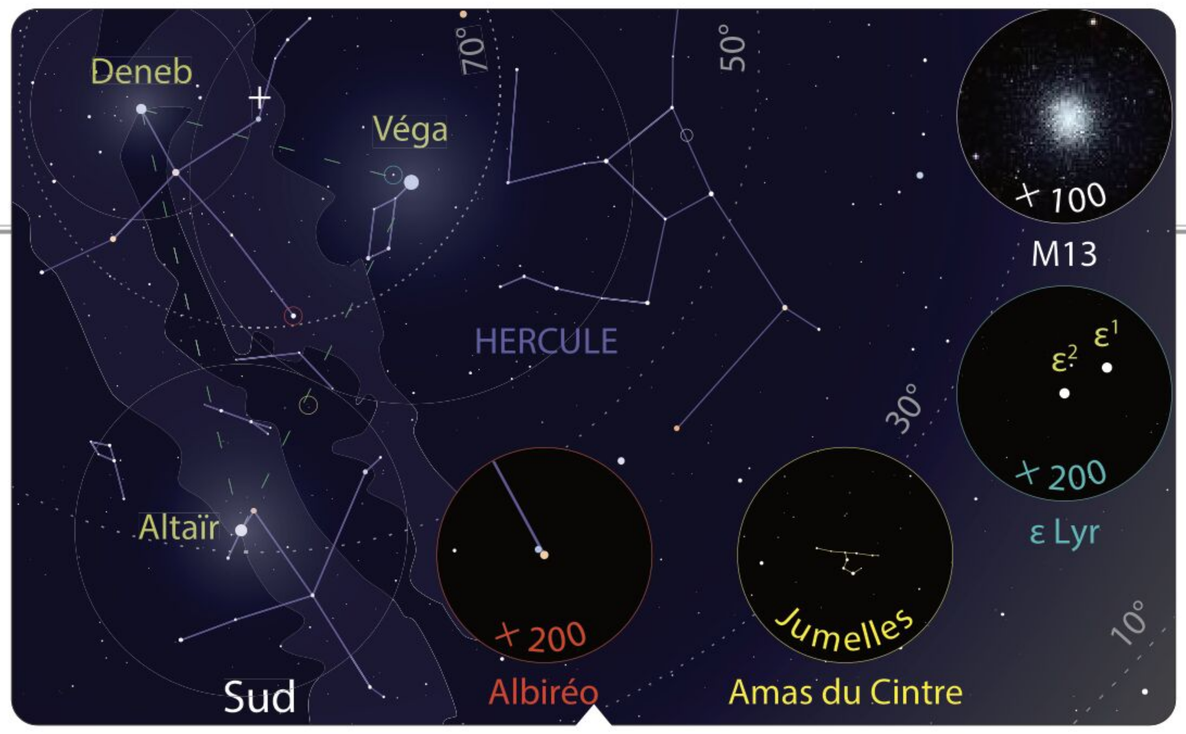
MARS
La planète Rouge se lève avant le milieu de la nuit. Son éclat caramel croît de 70 % au cours du mois et dépasse désormais celui des étoiles les plus brillantes visibles actuellement. En fin de nuit, on la trouve vers le sud-est à une trentaine de degrés de hauteur en début de mois et à mi-hauteur dans le ciel vers le sud en fin de mois. En raison de la forme des constellations concernées, Mars débute son périple dans les Poissons, entre dans la Baleine le 8 puis revient dans les Poissons le 26.

JUPITER
La reine des planètes passe à l'opposition le 14. Très brillante, elle est visible toute la nuit.

SATURNE
Proche de Jupiter en direction mais moins brillante, Saturne passe à l'opposition le 20. Elle est également observable toute la nuit.

L'appli du mois

ISS DETECTOR est une application gratuite en français sous Android et iOS (des extensions payantes sont disponibles).
En connaissant votre position, elle peut vous fournir les heures et la localisation des passages de la Station spatiale internationale dans votre ciel.
Une alarme peut être activée pour vous rappeler chaque passage.

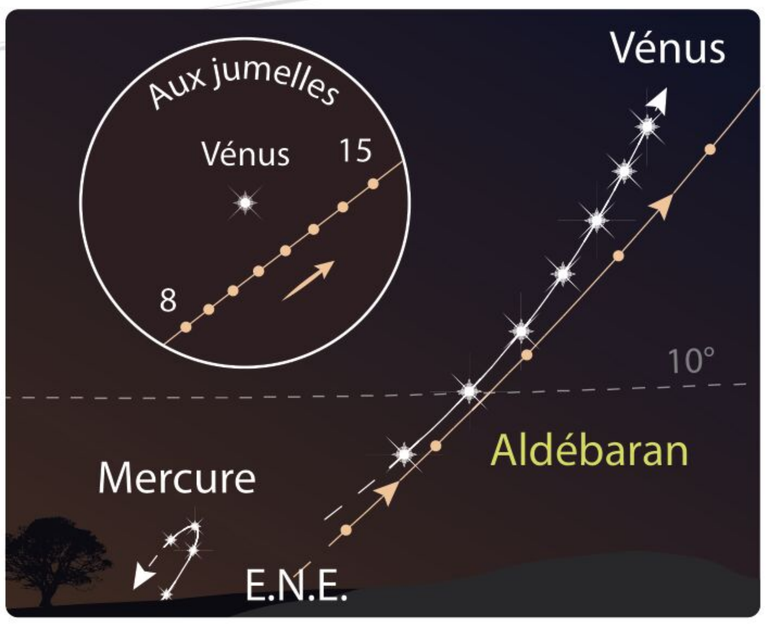


Nous sommes en milieu de mois, vers 2 heures du matin. Le ciel est dominé par le triangle de l'été, composé des étoiles Véga, Altaïr et Deneb.

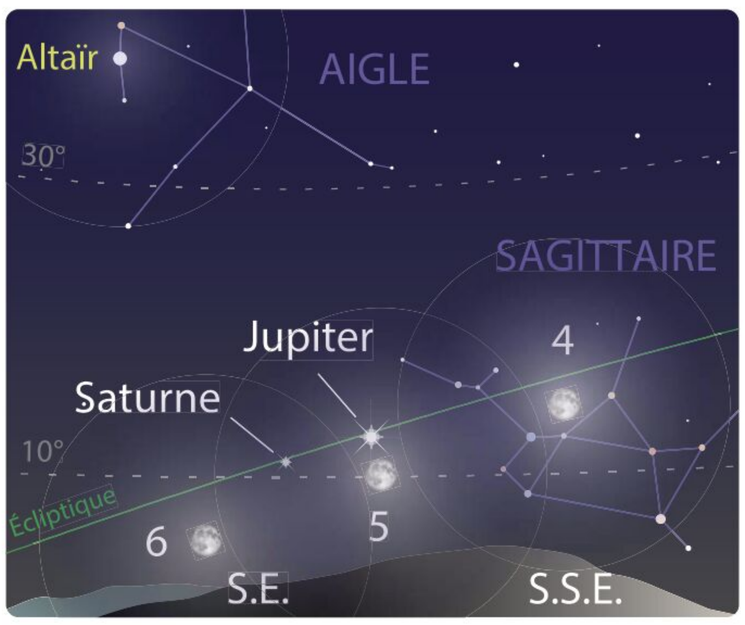
Merveilles estivales

LE CIEL D'ÉTÉ REGORGE DE TRÉSORS. Sa figure la plus remarquable est le triangle de l'été, visible toute la nuit. Il est constitué des étoiles Véga de la Lyre, Altaïr de l'Aigle et Deneb du Cygne. En bordure du triangle, l'amas du Cintre *(cercle jaune ci-dessus)* offre un spectacle étonnant aux jumelles. Au télescope, ne passez pas à côté d'Albiréo *(cercle rouge)*, une étoile double dont les composantes dévoilent un beau contraste de couleurs, de l'étoile Epsilon (ε) de la Lyre *(cercle cyan)*, qui se révèle également double, ainsi que de l'amas globulaire M13 *(cercle blanc)*, un enchantement pour les yeux.

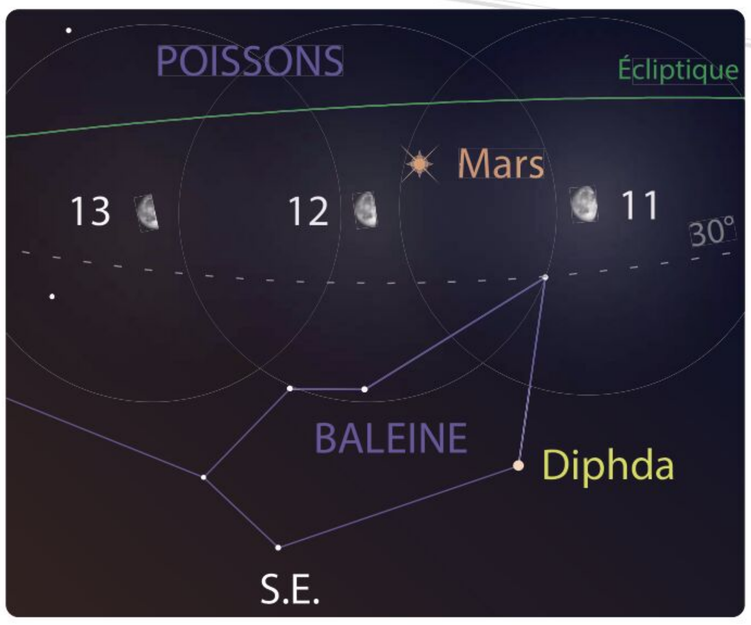
Notre conseil À l'œil nu, aux jumelles ou avec un instrument puissant, vous pourrez observer cette féerie tout au long du mois.



TOUT CE MOIS, LA PLANÈTE VÉNUS ET L'ÉTOILE ALDÉBARAN DU TAUREAU se lèveront de concert en fin de nuit. Leur position est donnée tous les 5 jours, une heure avant le lever du Soleil.

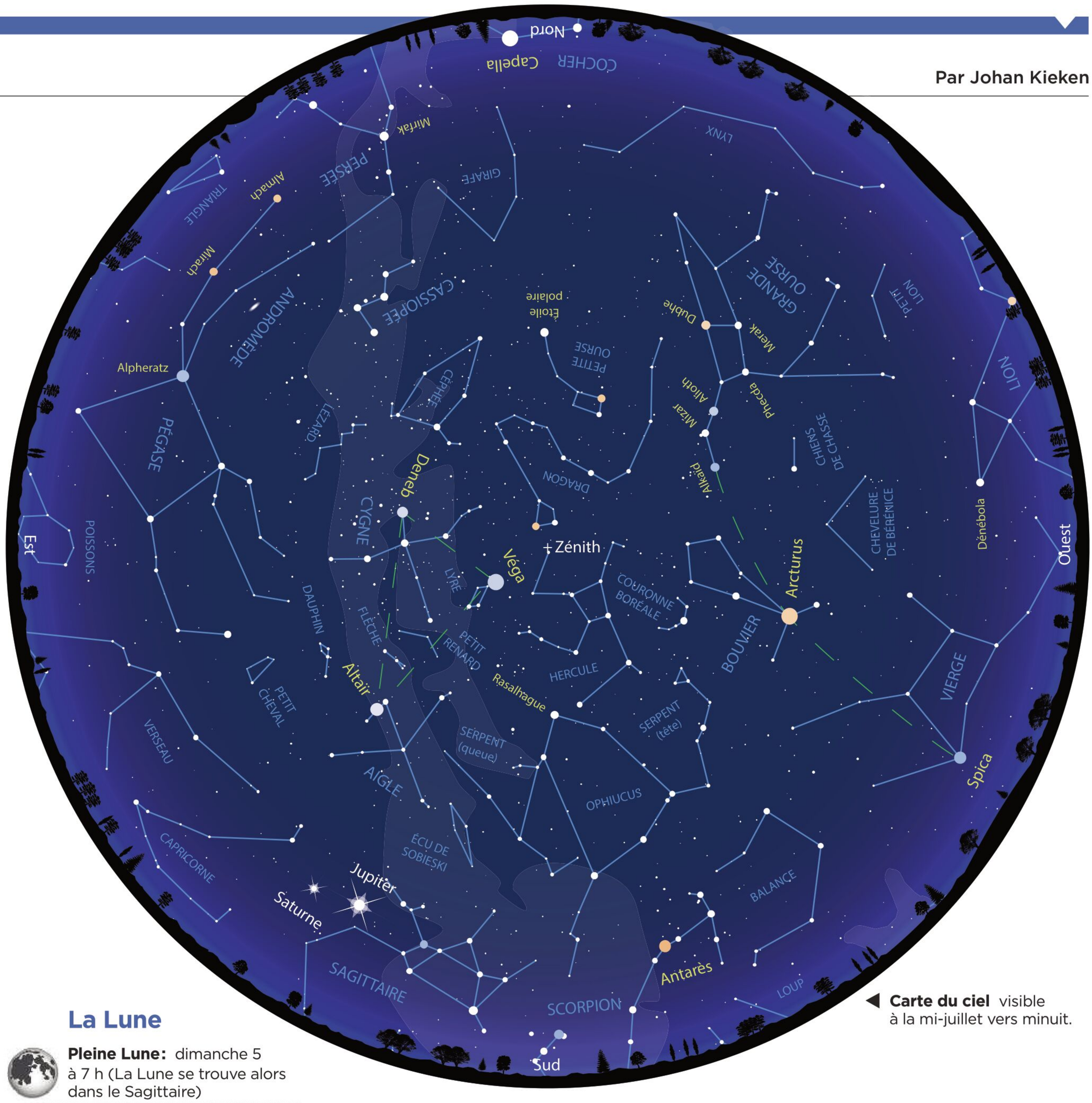


LE 5, LA LUNE A RENDEZ-VOUS AVEC LES DEUX PLUS GROSSES PLANÈTES du système solaire. Vers minuit, elle sera à moins de 3° au sud de Jupiter et à près de 7° à l'ouest de Saturne.



LE 12, EN FIN DE NUIT, UNE LUNE GIBBEUSE proche du second quartier passera à moins de 4° de la planète Mars. Le rapprochement prendra place dans la constellation de la Baleine.

Par Johan Kieken



Carte du ciel visible à la mi-juillet vers minuit.

La Lune

Pleine Lune: dimanche 5 à 7 h (La Lune se trouve alors dans le Sagittaire)

Dernier quartier: lundi 13 à 1 h (Poissons)

Nouvelle Lune: lundi 20 à 20 h (Cancer)

Premier quartier: lundi 27 à 15 h (Vierge)

Le 5, éclipse de Lune par la pénombre, en partie visible en France le matin au coucher de la Lune. Phénomène très peu spectaculaire.

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er juillet	5h52	21h57
31 juillet	6h23	21h30

Le 4 à 13h35, la Terre est au plus loin du Soleil pour 2020 (152,1 millions de km).

D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.

Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

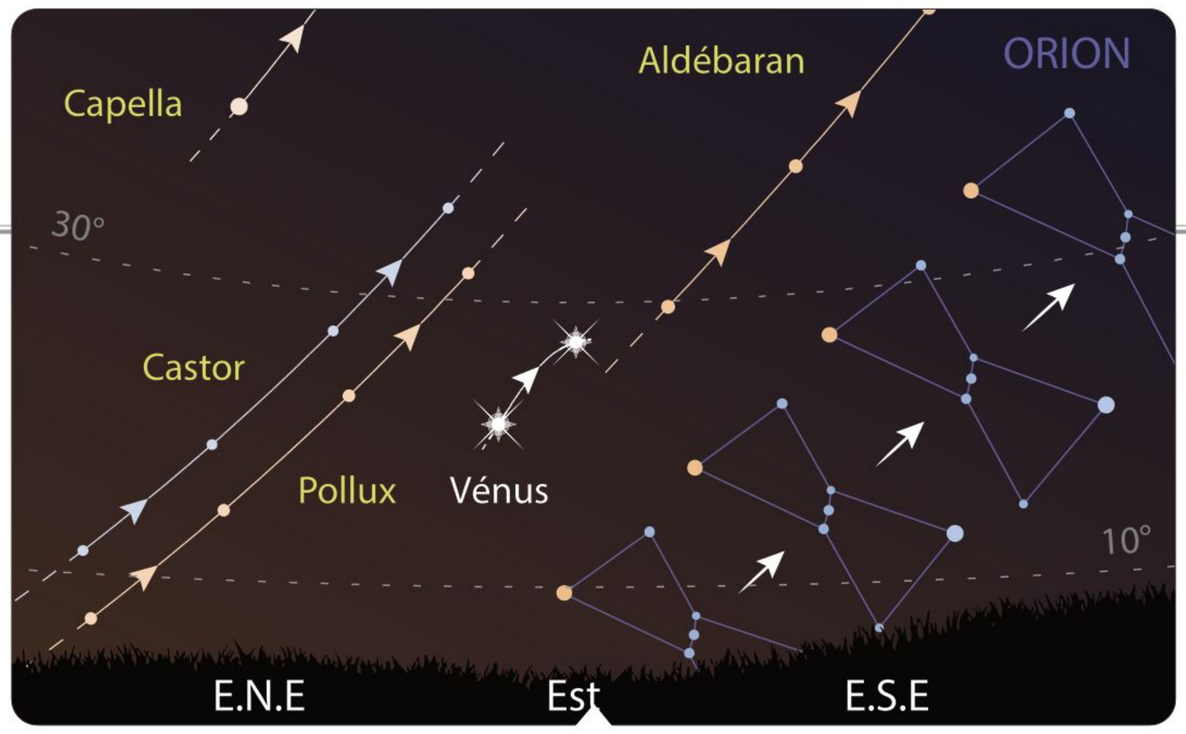
LE CIEL D'AOÛT

Où sont les planètes ?

MERCURE
La plus petite des planètes n'est visible que durant la première semaine d'août, basse dans les lumières du levant. Elle passe en conjonction supérieure avec notre étoile le 17 et n'est hélas pas visible ensuite sous nos latitudes, noyée dans l'éclat du Soleil couchant.

VÉNUS
L'étincelante étoile du Berger atteint sa plus grande distance angulaire (46°) à l'ouest de l'astre du jour le 13. Elle est immanquable en fin de nuit et au petit matin, dominant l'horizon est de près de 30°, 1 h avant le lever du Soleil.

MARS
La planète Rouge se lève maintenant en première partie de nuit et demeure observable jusqu'au petit matin. On la trouve à mi-hauteur dans le ciel vers le sud quand apparaissent les premières lueurs du jour. Son éclat couleur caramel gagne près de 90 % au cours du mois:



Il est ici 1 h avant le lever du Soleil. Seules quelques étoiles sont dévoilées pour faciliter la compréhension du schéma. Leurs positions sont données les 1er, 11, 21 et 31 août; celles de Vénus les 1er et 31.

Vénus, du soir au matin

APRÈS UNE PÉRIODE DE PLUSIEURS MOIS où elle se trouvait dans d'excellentes conditions d'observation en soirée, Vénus est désormais visible en fin de nuit et le matin. Elle traverse en août de splendides constellations aux étoiles colorées: le Taureau et son étoile Aldébaran qu'elle quittera le 5 pour Orion, puis les Gémeaux et ses deux étoiles Castor et Pollux à partir du 13. Vénus demeurera observable dans le ciel matinal jusqu'au début de l'année 2021.

Notre conseil Par son éclat très vif, Vénus est très facile à observer car elle attire irrésistiblement l'œil. Nous vous invitons à suivre son déplacement quotidien à côté des étoiles environnantes, fixes les unes par rapport aux autres.

Mars est désormais plus brillante que Sirius, l'étoile la plus lumineuse du ciel nocturne.

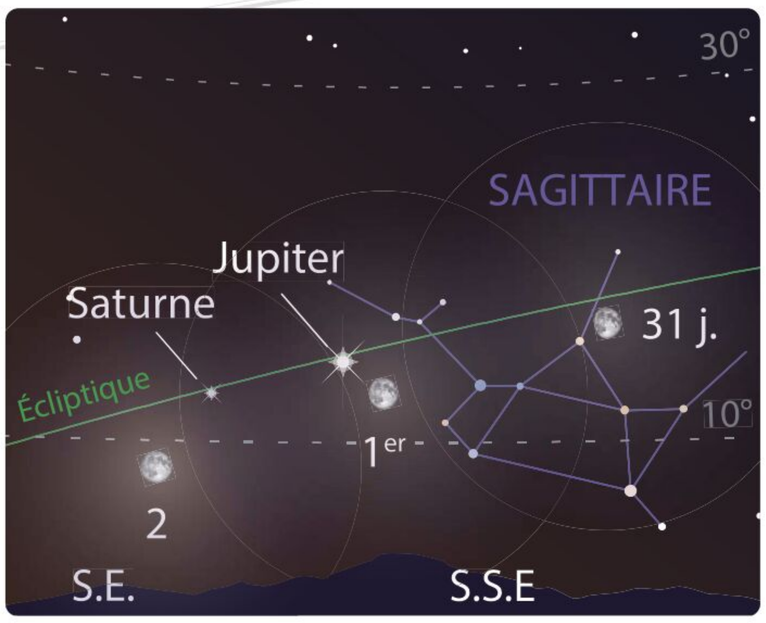
JUPITER
Très brillante, la planète géante se trouve dans d'excellentes conditions d'observation. Elle est visible en soirée et une bonne partie de la nuit, mais toujours assez bas dans le ciel car elle se trouve dans la constellation australe du Sagittaire.

SATURNE
Située à environ 8° à l'est de Jupiter, la planète aux anneaux se trouve dans des conditions d'observation très similaires.

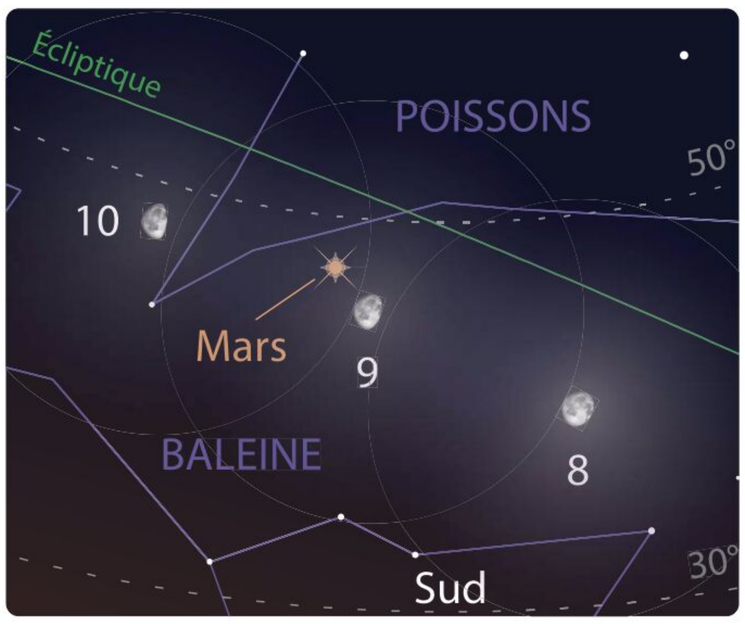
L'appli du mois

CONSTELLATION MAP

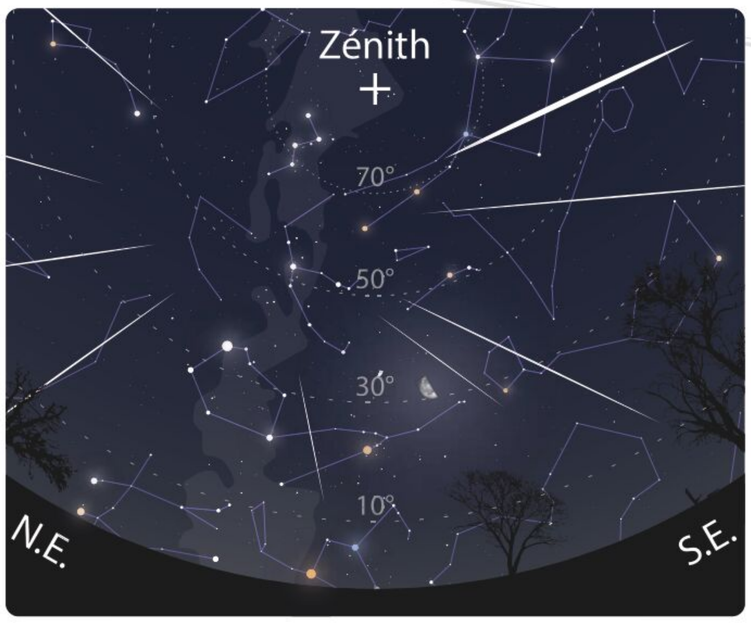
est une application gratuite en français sous Android. Pointez votre appareil vers le ciel et il affichera les noms des planètes, des étoiles les plus brillantes et des constellations lui faisant face, ainsi que l'écliptique et l'équateur céleste. Très pratique en cette période vacances!



LE PREMIER JOUR DU MOIS D'AOÛT NOUS OFFRE UN RAPPROCHEMENT INTÉRESSANT entre la Lune et les planètes Jupiter et Saturne. Un spectacle à admirer dès la tombée de la nuit!

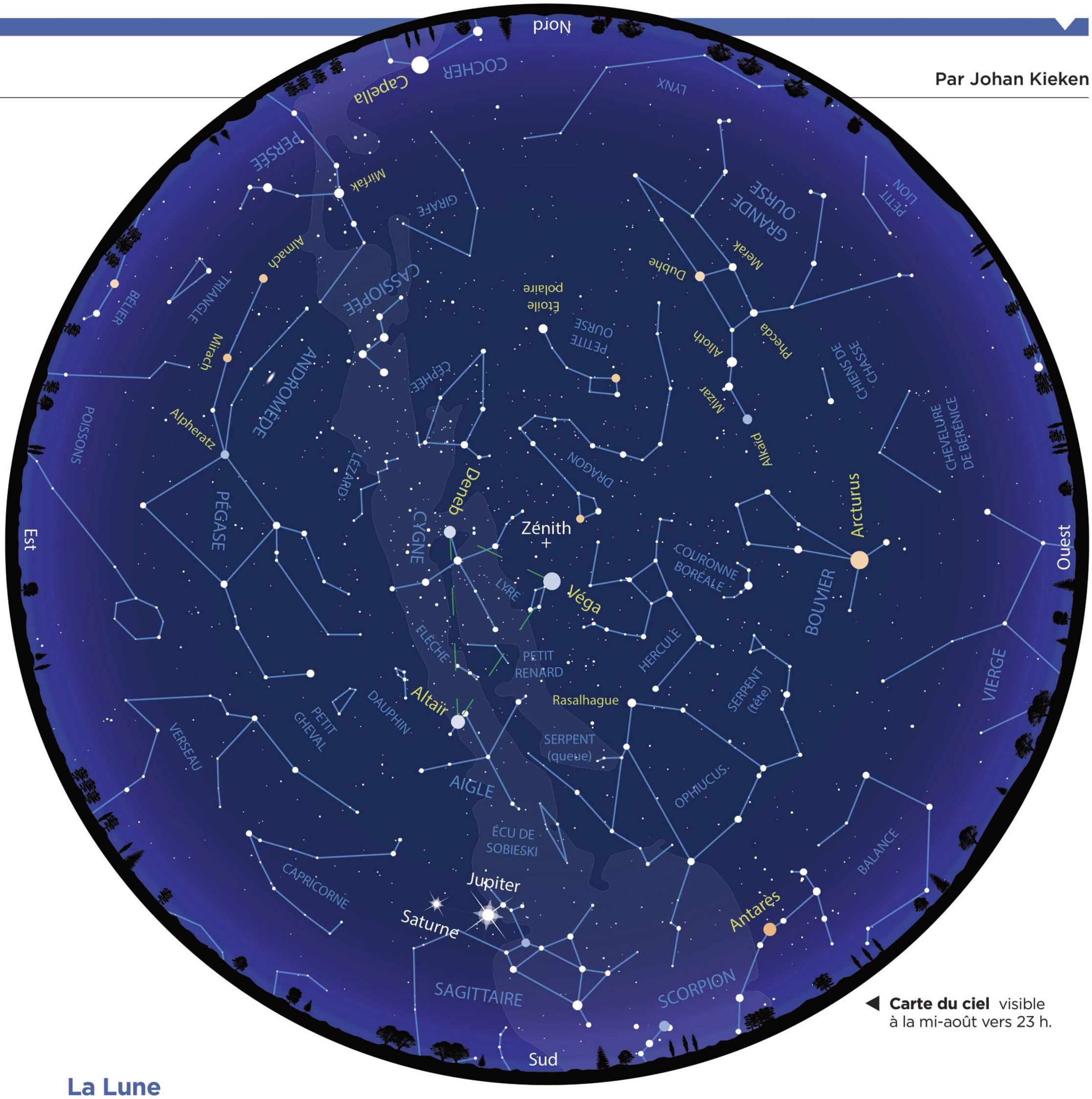


LE 9, EN FIN DE NUIT, LA PLANÈTE MARS RECEVRA LA VISITE de notre satellite la Lune en phase gibbeuse décroissante. Moins de 3° sépareront alors les deux astres.



DANS LA NUIT DU 12 AU 13, LE DERNIER QUARTIER DE LUNE ne devrait pas être une source de pollution lumineuse trop gênante pour admirer les étoiles filantes de l'essaim des Perséides.

Par Johan Kieken



◀ **Carte du ciel** visible à la mi-août vers 23 h.

La Lune

Pleine Lune : lundi 3 à 18 h (La Lune se trouve alors dans la constellation du Capricorne)

Dernier quartier : mardi 11 à 19 h (Bélier)

Nouvelle lune : mercredi 19 à 5 h (Lion)

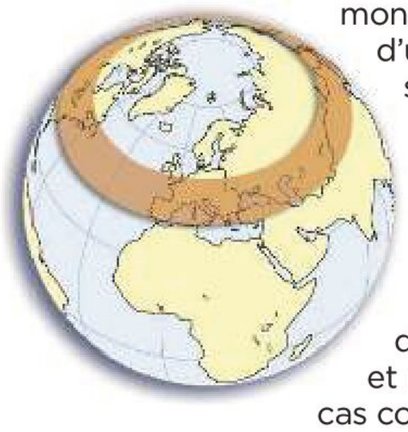
Premier quartier : mardi 25 à 20 h (Scorpion)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er août	6h25	21h29
31 août	7h06	20h34

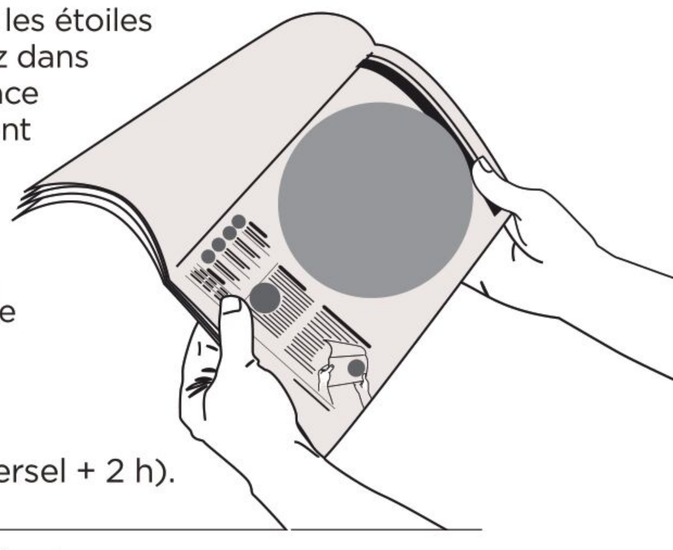
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 2 h).

BÉATRICE APPIA-BLACHER, MUSÉE DU QUAI BRANLY - JACQUES CHIRAC

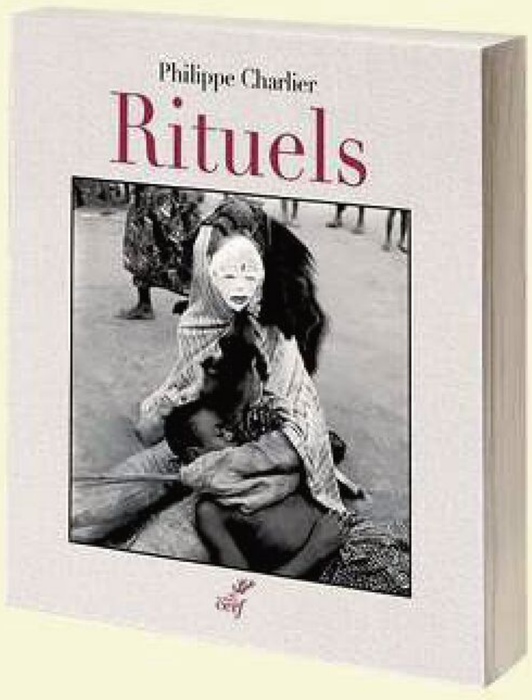
Danse de la déesse Numba chez les Baga de Guinée. Les rituels sont aussi multiples que les cultures.

Des rituels pour organiser le chaos

Dans cet ouvrage illustré de photos issues du musée du Quai-Branly, à Paris, le médecin légiste et archéo-anthropologue Philippe Charlier explique comment les situations du quotidien sont régulées par les rituels pour affronter l'inconnu.

LIENS Famadihana ou « retournement des morts » à Madagascar ; danse gona du masque kanaga en pays Dogon (Mali), ou rites de passage ukuli, en Éthiopie… Autant de rituels que de cultures. Dans cet ouvrage illustré, sobrement intitulé *Rituels*, Philippe Charlier, médecin légiste et archéo-anthropologue au musée du Quai-Branly-Jacques Chirac, à Paris, où il dirige le département de la recherche et de l'enseignement, a voulu expliquer en quoi ils *« étaient un lien entre l'homme et ses dieux. Et où face à l'inconnu (maladie, mort…), ils étaient une façon d'organiser le chaos pour éloigner la peur et affronter les épreuves »*. L'avenir étant incertain, les rituels seraient là pour aider les humains. Leur éviter d'être désemparés devant l'inéluctable. Avec des recettes pour tout : *« Unir deux personnes que tout oppose, ou que rien ne prédispose l'une à l'autre, on sait quoi faire. Quand quelqu'un est malade et que l'on ne sait pas s'il va survivre ; quand des personnes se rencontrent et qu'il y a des conflits au sein d'une famille, d'une cité ou d'un peuple, à ce moment-là, il va être fait appel à des rituels. Toutes les situations du quotidien sont organisées, et régulées, par eux »*, explique-t-il. C'est en accédant au fonds des archives photographiques du musée du Quai-Branly, en relayant également des rituels auxquels il a lui-même participé ou assisté, ou en découvrant, à travers des objets du musée *« qui l'ont fasciné »*, les cérémonies auxquelles ils étaient rattachés, que l'idée de cet ouvrage illustré de photos rares est née. *« Les rituels ont un grand intérêt pour les vivants. Car la vraie mort d'un humain n'est pas son cœur qui ne bat plus, ni ses chairs qui se décomposent… La vraie mort, c'est l'oubli ! »* Et les rituels servent justement à ne pas oublier. ■

Bernadette Arnaud



Rituels, Philippe Charlier, Éditions du Cerf, 228 p., 18 €

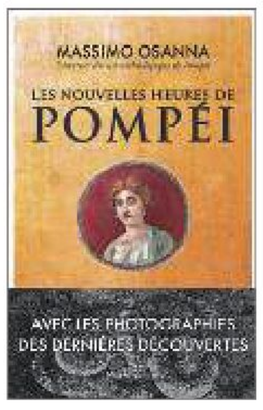
Road-trip en territoire pétrolifère

ENQUÊTE L'un dirige une association pour jeunes travailleurs à Vancouver (Canada), le second est directeur du département de participation communautaire de l'université Simon-Fraser, située dans cette même ville. Tous deux se sont lancés dans un *road-trip* d'enquête écologique et sociologique les menant de Vancouver aux champs de sables bitumineux de l'Alberta dans le nord-ouest du pays, considérés comme l'exploitation pétrolière la plus polluante au monde. Objectif : comprendre le rapport des peuples autochtones — et de tous les habitants en général — à ces territoires souillés. L'ensemble étant illustré par Joe Sacco, considéré comme l'un des pères de la BD-reportage. Un plaidoyer politique pour que chacun puisse retrouver une vraie douceur de vivre. ■ **C. C.**

Réchauffement planétaire et douceur de vivre, Matt Hern et Am Johal, illustrations Joe Sacco, éditions Lux, 224 p., 18 €

Dernières découvertes à Pompéi

ENCHANTEMENT On pensait tout connaître de Pompéi, sans imaginer qu'une succession d'effondrements, ces dernières années, allait conduire à l'ouverture de fouilles d'un pan inexploré de la cité détruite par l'éruption du Vésuve en 79. Depuis 2018, ces travaux au cœur de la *Regio V* ont permis d'extraordinaires découvertes. De la maison du Jardin et ses inscriptions, à l'énigmatique mosaïque d'Orion, c'est à une fascinante visite et à une relecture de la vie de la cité, que nous convie l'auteur, directeur du site. ■ **B. A.**



Les Nouvelles Heures de Pompéi, Massimo Osanna, Flammarion, 393 p., 23,90 €

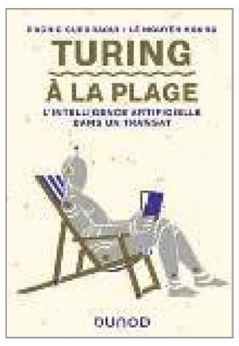
Relancer le cerveau

APPRENTISSAGE Pour préparer la rentrée, apprenons à activer nos neurones ! Steve Masson, professeur à l'université du Québec à Montréal (Canada), directeur du Laboratoire de recherche en neuro-éducation, énonce ici ses sept principes d'apprentissage, justifiés par les neurosciences. Ainsi, mieux vaut une participation active dans l'apprentissage *« pour créer des connexions pertinentes »*, une répétition *« pour les renforcer »*, ou encore un autoquestionnement pour *« activer les régions cérébrales permettant de lier les connaissances »*. Chaque principe est expliqué du point de vue des neurones, puis des mises en application sont proposées. Dommage que les schémas trop austères ne favorisent pas un apprentissage en s'amusant. ■ **E. S.**

Activer ses neurones, Steve Masson, Odile Jacob, 250 p, 22,90 €

L'IA dans un transat

ALGORITHMES Passer les vacances avec une personnalité historique est devenu tendance. Après un été avec Montaigne ou Homère, voilà que nous pouvons nous allonger dans un transat en compagnie d'Alan Turing, célèbre cryptologue britannique à qui l'on doit — entre autres — l'invention du premier ordinateur moderne. L'occasion de parfaire ses connaissances sur l'intelligence artificielle, ses enjeux, défis et dangers. Les deux brillants auteurs de cet ouvrage, Rachid Guerraoui, qui occupa la chaire Informatique et sciences numériques au Collège de France et le jeune mathématicien youtubeur Lê Nguyên Hoang qui savent, de façon très simple, expliquer pourquoi il est si complexe pour une IA… de reconnaître un simple chat. ■ **C. C.**



Turing à la plage, Rachid Guerraoui, Lê Nguyên Hoang, Dunod, 224 p, 15,90 €

Une année avec Bougrain-Dubourg

CHRONIQUE Ça démarre un 1er janvier à l'île de Ré, par l'image impétueuse d'une foultitude d'oiseaux marins, et se termine un 31 décembre par l'évocation émue d'une rencontre avec Konrad Lorentz. Le journal d'une année d'Allain Bougrain-Dubourg regorge de souvenirs de nature, mais surtout de bagarres militantes. Car le président de la Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) a engagé sa vie entière dans la défense des animaux Chronique à la fois légère et dense des défis écologistes passés et à venir, ce livre rappelle qu'il est crucial de ne pas baisser les bras. ■ **A. De B.**

On a marché sur la Terre. Journal d'un militant, Allain Bougrain-Dubourg, Les Échappés, 335 p., 20 €

Game of Thrones sous influence

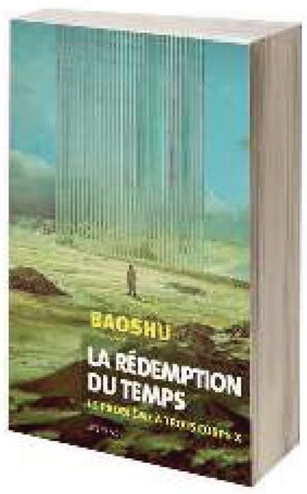
VISION Deux médiévistes, l'une spécialiste de la littérature arthurienne, l'autre travaillant sur les États latins d'Orient se sont penchés sur *Game of Thrones*, la célèbre série télé. Il est captivant de voir ce qu'elle emprunte à l'histoire mais aussi ce qu'elle fantasme du Moyen Âge. Ainsi, l'univers médiéval de Westeros (le continent occidental sur lequel se déroule l'essentiel de l'intrigue) affiche une grande pluralité religieuse et une indifférence à la foi d'autrui, plus réaliste que la vision d'un Moyen Âge exclusivement catholique, exploitée aujourd'hui politiquement par des « nostalgiques » d'une Europe chrétienne. La musique emprunte davantage à celle de la Renaissance, et si la série rend bien la façon dont la colère était pensée et utilisée à l'époque, elle est anachronique en matière d'humour… Le Moyen Âge est encore décrypté selon d'autres thématiques : combat, place des femmes, pouvoir, amour et sexualité… ■ **Rachel Mulot**

Une Histoire de feu et de sang. Le Moyen Âge de Game of Thrones, Florian Besson, Justine Breton, PUF, 390 p., 22 €

Intelligence animale

REGARD Depuis *Habiter en oiseau* (Actes Sud, 2019), Vinciane Despret est une voix qui porte. Il faut donc saluer la réédition, dans une version remaniée et augmentée, de cet essai publié initialement en 2002 et devenu depuis introuvable. Loin des dogmes scientifiques, la philosophe de l'université de Liège (Belgique) y « revisite » nos connaissances sur le monde animal pour *« faire histoire autrement »* et reconnaître à chacun sa capacité à explorer, découvrir et inventer. En un mot, à *« faire récit »*, à nous surprendre, faisant voler ainsi en éclats *« l'instinct »* dans lequel les animaux ont si longtemps été enfermés. Ainsi de ces babouins d'Arabie qui apprennent aux chiens à suivre leurs rituels sociaux, de ces corbeaux qui reconnaissent toujours le visage de leurs bourreaux, de ces kéas (oiseaux) de Nouvelle-Zélande qui déplacent systématiquement les cônes de signalisation pour rétrécir la chaussée et faire ralentir les voitures… En changeant notre regard, tout change : et c'est ainsi que les moutons — pour peu qu'on sache les observer — acquièrent une intelligence sociale aussi sophistiquée que celle des primates. ■ **Carole Chatelain**

Quand le loup habitera avec l'agneau, Vinciane Despret, Les Empêcheurs de tourner en rond, 325 p., 20 €



Opéra galactique chinois

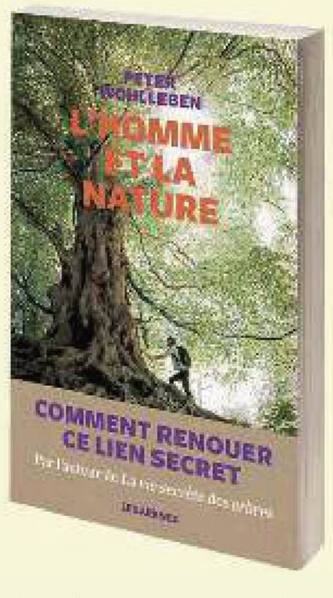
SCIENCE-FICTION Avis aux adeptes de la trilogie de Liu Cixin *Le Problème à trois corps* : on joue les prolongations ! L'écrivain Baoshu, fan de l'auteur chinois de SF à succès, s'est lancé, avec l'aval de son inspirateur, dans une audacieuse suite des événements interstellaires qui avaient conduit l'humanité à fuir l'invasion trisolarienne et les protagonistes à l'errance. Propulsé dans les recoins impensables d'univers multiples où se niche une entité menaçante pour les derniers humains, le ressuscité Yun Tianming relève le défi de la bataille ultime. Un hommage vertigineux au maître que le romancier assume en un grand coup de chapeau final. ■ **A. De B.**

La Rédemption du temps, Baoshu, Actes Sud, 304 p., 16,99 €

C'EST À LIRE

PATRICK MOURRAL / PINK / SAIF IMAGES

Une invitation à communiquer avec la nature et à en découvrir les richesses en faisant confiance à nos sens.



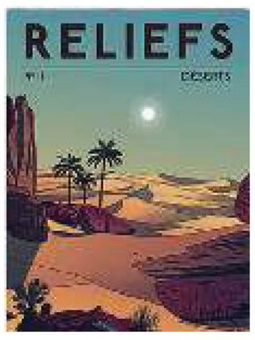
Vivre en symbiose avec la nature

SENS *« Si nous ne prenons pas soin de la nature, nous ne prenons pas soin de nous »*, affirmait Peter Wohlleben dans une interview parue dans notre hors-série sur la forêt *(n° 201, avril-juin 2020)*. L'auteur du best-seller *La Vie secrète des arbres*, créateur en Allemagne d'une académie consacrée à la biodiversité et à la gestion durable des forêts, martèle ici avec enthousiasme ses convictions. Son dernier livre invite à dépasser les barrières culturelles qui nous séparent de la nature, à faire confiance à nos sens pour renouer avec elle, et nous plonge dans la découverte de la richesse inouïe des bois. Goûter des pousses d'épicéa afin de secouer ses papilles assoupies, ouvrir les écoutilles au moindre trille, frotter ses doigts dans des mousses gorgées de rosée, embrasser les arbres pour communiquer avec eux. Ésotérique ? L'auteur ne balaie pas la critique d'un revers de la main, au contraire, il argumente et détaille en s'appuyant sur les études de biologie végétale les plus pointues. Des perles de science qui pimentent son expérience de terrain. ■ **Andreina De Bei**

L'Homme et la nature. Comment faire renaître ce lien secret, Peter Wohlleben, Les Arènes, 270 pages, 20,90 €

Les déserts passés en revue

EXPLORATION La moisson d'été de *Reliefs* dévoile les déserts. Cette revue consacrée à l'exploration et à l'aventure propose une découverte des étendues désertiques du monde par la plume de paléoclimatologues, géographes, historiens et grands voyageurs. Après une mise en

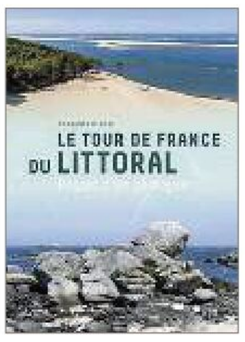


perspective de la dynamique de désertification comme conséquence du réchauffement climatique, le lecteur découvrira la portée symbolique de la traversée du désert, l'importance de ses explorateurs tel Théodore Monod, la magnificence du Sahara menacée par les conflits politiques, et des cartes figurant les dix plus grands déserts ainsi que les espèces en danger qui les peuplent. Le tout magnifiquement illustré. ■ **A. De B.**

Revue Reliefs n° 11, « Déserts », Reliefs Éditions, 184 p., 19 €

Orfèvre de la côte

RIVAGES Saviez-vous que les roches les plus anciennes de France, des gneiss de plus de 2 milliards d'années, affleurent sur une plage des Côtes-d'Armor ? Que l'on trouve des milliers de traces de pas de dinosaures sur la plage du Veillon en Vendée ? Baignés par l'Atlantique, la Méditerranée, la Manche, les rivages français offrent une grande diversité d'histoires géologiques, depuis la dune du Pilat (106 m) jusqu'aux falaises d'Étretat, en passant par les étangs du



Languedoc, marais, estuaires et deltas. Ou encore les récifs coralliens et mangroves des territoires ultramarins ! François Michel nous les fait visiter avec son œil et ses explications didactiques de géologue. Une somme à emporter dans ses bagages. ■ **S. R.**

Le Tour de France du littoral : regard d'un géologue, François Michel, Delachaux et Niestlé, 291 p., 35 €

Quand une IA combat un virus

DYSTOPIE Un an après l'épidémie d'Ebola ayant touché la France, une nouvelle souche du virus se répand à travers une Europe en crise. Comme dans le premier tome de ce polar d'anticipation sorti en 2018, une intelligence artificielle de pointe, S.A.R.R.A., est chargée d'endiguer la propagation du virus dans un univers dystopique qui résonne avec la crise du Covid-19. Docteur en droit de la santé, ancien directeur d'hôpital et ancien conseiller santé du Premier ministre François Fillon, David Gruson mêle politique et bioéthique dans un récit haletant. ■ **H. J.**

S.A.R.R.A (tome 2) David Gruson, édition Beta Publisher, 352 p., 16 €

Les effets sociaux du Covid-19

CRISE Si les sciences biomédicales ont été adjurées de donner des réponses précises au Covid-19 (masques, traitements, vaccin…), les sciences sociales, elles, peuvent maintenant raconter comment *« un virus relève surtout de subjectivité, d'émotions, voire d'irrationalités… »*. Écrit en un temps record par 26 sociologues, politologues, géographe…, l'ouvrage *Covid-19, le regard des sciences sociales* s'essaye à trouver des leçons d'importance à cette crise. Aide à comprendre ce qu'elle révèle de nos vulnérabilités et de la préparation ou pas aux prochaines crises. Et explicite nos besoins de rituels, tels les applaudissements en faveur des soignants ! Éclairant. ■ **D. J. L.**

Covid-19, le regard des sciences sociales, collectif, Seismo, 336 p., 33 €

QUESTIONS DE LECTEURS

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

COGNITION

Pourquoi trouvons-nous les bébés mignons ?

Germain M.

De grands yeux ronds, une tête large par rapport au corps, des sourcils hauts, des joues rebondies, un petit menton et une petite bouche : voilà le portrait-robot d'un bébé qui donne envie que l'on prenne soin de lui. C'est le chercheur autrichien Konrad Lorenz qui a développé dès 1943 l'idée selon laquelle quand un visage répond au *Kindchenschema* (« schéma du bébé ») il a tendance à nous attendrir. Son intuition a été testée en 2009 par des scientifiques américains et allemands qui ont modifié des photos d'enfants et les ont soumises à des volontaires. Résultat : un visage retouché pour correspondre à un *Kindchenschema* parfait était considéré comme plus mignon qu'au naturel. ■ **Anne-Sophie Tassart**

@Tassartas

BOTANIQUE

À quoi sert l'herbe à chat ?

Gérard C.

L'herbe à chat est le nom sous lequel, en France, de jeunes pousses de graminées (blé, avoine, seigle, orge) sont vendues dans le commerce. Elle permet à l'animal de satisfaire ses besoins en végétaux et de purger son tube digestif : elle l'aide ainsi à régurgiter les boules de poils qu'il a absorbées en se léchant. Il ne faut pas la confondre avec les « herbes-aux-chats » qui désignent diverses plantes ayant un effet euphorisant ou excitant sur certains félins. L'herbe-aux-chats la plus connue est la cataire, une plante aromatique semblable à la menthe. Certains chercheurs estiment qu'elle pourrait même provoquer des hallucinations. ■ **Lise Loumé**

@LysLoume

PALÉOBOTANIQUE

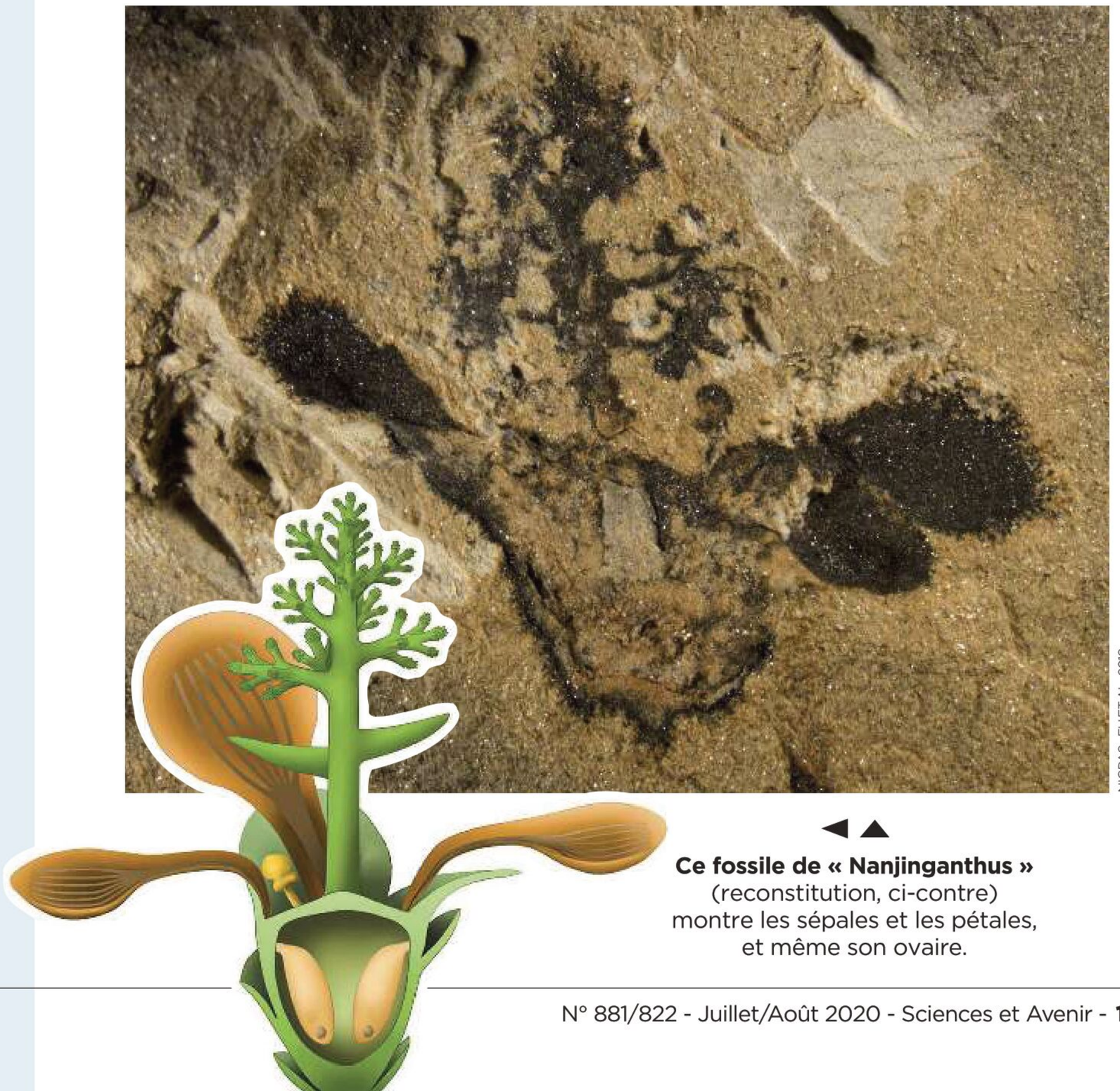
De quand datent les premières fleurs ?

Gérard C.

La toute première fleur connue (*Nanjinganthus dendrostyla*) s'est ouverte il y a 174 millions d'années. Elle a été découverte en 2018 par une équipe de l'Académie chinoise des sciences de Nankin, détrônant une plante aquatique remontant à -130 millions d'années (*Montsechia vidalii*). Les chercheurs ont examiné plus de 250 fossiles de plantes mis au jour dans un affleurement de rochers dans la région de Nanjing, réputée pour ses fossiles de l'époque du jurassique ancien. Grâce à des techniques de microscopie sophistiquées, ils ont pu confirmer que *Nanjinganthus dendrostyla* avait bien les caractéristiques d'une plante à fleurs pouvant former et abriter des graines. Les scientifiques ont ensuite tenté d'en reconstituer l'aspect à partir des données, parcellaires, dont ils disposaient *(image ci-dessous)*.

Cette découverte n'a cependant pas mis un terme aux débats concernant l'origine et l'évolution des angiospermes, le nom scientifique des plantes à fleurs. En particulier, les spécialistes ne savent toujours pas si cette première fleur est l'ancêtre de toutes les autres ou si les fleurs seraient apparues à plusieurs reprises dans l'histoire évolutive. Les angiospermes ont en tout cas connu un énorme succès évolutif : il en existe aujourd'hui plus de 300 000 espèces et elles représentent 90 % des plantes. ■

Joël Ignasse et Hervé Ratel



NIGPAS - FU ET AL., 2018

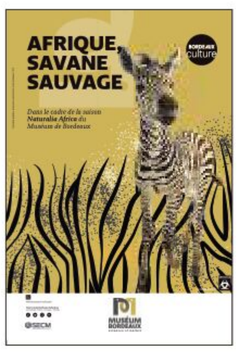
◄ ▲ **Ce fossile de « Nanjinganthus »** (reconstitution, ci-contre) montre les sépales et les pétales, et même son ovaire.

EXPOSITIONS

Bordeaux (33)

Chiens et chats
Une exposition conçue par la Cité des sciences à Paris pour faire le point sur les connaissances scientifiques, sociologiques et culturelles sur les chiens et les chats. Lire notre reportage : sciav.fr/881chienschats
Cap Sciences, Hangar 20, quai de Bacalan, du 4 juillet 2020 au 3 janvier 2021. Rens. : 05.56.01.07.07.

Afrique, savane sauvage



Expliquer les dynamiques écologiques qui régissent la savane au travers des plus célèbres animaux africains — lions, rhinocéros, girafe, buffle, zèbre… *(voir* S. et A. *n° 877, mars 2020)*.
Muséum, 5, place Bardineau, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 05.24.57.65.30.

Dunkerque (59)

Préhistoire(s), l'enquête
Déambulation contée autour d'une mystérieuse sépulture qui nous fait remonter le temps jusqu'à la préhistoire.
Cappelle-la-Grande, le PLUS, rue du planétarium, du 6 juillet au 30 août. Rens. : 08.00.53.75.87.

Grenoble (38)

Fascinants félins
L'univers des félins, et en particulier du lynx emblématique de la région, présenté à partir notamment de la collection du muséum.
Muséum, 1, rue Dolomieu, jusqu'au 20 septembre. Rens. : 04.76.44.05.35.

La Rochelle (17)

Île de Pâques. Le nombril du monde ?
Qui étaient les premiers habitants de Rapa Nui, cette petite île perdue dans le Pacifique ? Que représentent ces grands moaï de pierre ? Et comment une île couverte de forêt est-elle devenue cette lande inhospitalière ?
Muséum d'Histoire naturelle, 28, rue Albert-1er, jusqu'au 6 septembre. Rens. : 05.46.41.18.25.

Laval (53)

Explore Mars
Cette exposition propose de comparer vents martiens et terrestres, de ressentir la gravité martienne et de découvrir d'autres caractéristiques de la planète Rouge parmi des maquettes à taille réelle des rovers martiens.
Le Zoom, musée des Sciences, 21, rue du Douanier-Rousseau, jusqu'au 4 octobre. Rens. : 02.43.49.47.81.

Le Havre (76)

L'aventure Charcot et Carnets d'exploration
Deux expositions sur les voyages scientifiques : la première consacrée à Jean-Baptiste Charcot et la seconde à deux explorateurs contemporains, Barbara Réthoré et Julien Chapuis.
Muséum d'Histoire naturelle, place du Vieux-Marché, jusqu'au 3 janvier 2021. Rens. : 02.35.41.37.78.

Lille (59)

Liaisons vitales
Une exploration de l'entraide dans le monde animal au travers d'exemples de comportements de solidarité, d'assistance, de partage, d'altruisme…
Musée d'Histoire naturelle de Lille, jusqu'au 6 septembre. Rens.: 03.28.55.30.80.

Lyon (69)

Le monde en tête
Un ensemble de plus de 500 coiffes de toutes les régions du monde

---

Toulouse (31) / Exposition

Wisigoths. Rois de Toulouse

« *Pour les Romains, ils étaient des Barbares. Ensuite, ils ont été chassés par les Francs au VIe siècle. Résultat : l'histoire de France a oublié les Wisigoths* », résume Laure Barthet, directice du musée Saint-Raymond de Toulouse. Un oubli en partie réparé par une exposition dans cette ville dont ce peuple germanique originaire des rives de la Baltique avait fait la capitale de son royaume en 418 après une longue migration à travers l'Europe. Bijoux en or raffinés et fibules, ainsi que quelques objets usuels (vaisselle et verrerie) proviennent pour la plupart de tombes féminines. « *En revanche, les tombes masculines sont très pauvres. Les guerriers wisigoths ne se font pas enterrer avec leurs armes contrairement aux autres peuples barbares, on ignore pourquoi* », souligne Laure Barthet. L'exposition illustre remarquablement les rapports complexes et ambigus de ce peuple malconnu avec l'Empire romain. Légitimés par celui-ci, les Wisigoths mettent pourtant Rome à sac en 410, avant de cohabiter avec les Romains dans les riches exploitations de la région toulousaine. Le musée Saint-Raymond dévoile enfin des découvertes très récentes, dont l'étonnant cimetière wisigoth de Seysses, près de Toulouse, qui compte 149 tombes que l'on peut pour certaines explorer en 3D grâce à une table interactive. ■ **Jean-François Haït**

MARIUS AMARIE, MUSÉE NATIONAL DE ROUMANIE

Coupe en or, argent, grenat et tourmaline (fin IVe-début du Ve siècle).

DANIEL MARTIN FOUINOFLEX

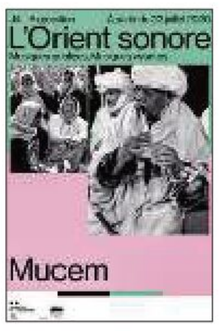
Paire de fibules digitées, en bronze (début du Ve siècle).

Musée Saint-Raymond, musée d'Archéologie, place Saint-Sernin, jusqu'au 27 décembre. Rens. : 05.61.22.31.44.

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

donné par le collectionneur Antoine de Galbert au musée des Confluences.
Musée des Confluences, 86, quai Perrache, jusqu'au 23 août. Rens. : 04.28.38.12.12.

Marseille (13)



L'Orient sonore
Sous-titrée « Musiques oubliées, musiques vivantes », cette exposition donne à voir — et à entendre — l'histoire des traditions musicales arabes menacées et de leur sauvegarde.
Mucem J4, 7, promenade Robert-Laffont, du 22 juillet au 4 janvier 2021. Rens. : 04.84.35.13.13.

Nancy (54)

Poils
Qu'est-ce qu'un poil ? Que sait-on de ce filament de kératine ? Et comment réagissons-nous face à cette pilosité ?
Muséum-aquarium, 34, rue Sainte-Catherine, jusqu'au 3 janvier 2021. Rens. : 03.83.32.99.97.

Nemours (77)

Les Sénons, archéologie et histoire d'un peuple gaulois
Une présentation de ce peuple gaulois, qui a laissé son nom à la ville de Sens et connu pour avoir pris part au sac de Rome en 390 avant J.-C., à partir des vestiges de ses habitats et de sa culture matérielle.
Musée de Préhistoire d'Île-de-France, 48, avenue Étienne-Dailly, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 01.64.78.54.80.

Paris (75)

Je mange donc je suis
Un parcours entre sciences naturelles, sciences humaines et art sur le thème de l'alimentation.
Musée de l'Homme, 17, place du Trocadéro, jusqu'au 31 août. Rens. : 01.44.05.72.72.

Brest (29) / Exposition

Trophée Jules-Verne

C'est en 1992 que les navigateurs Florence Arthaud et Titouan Lamazou lancent un nouveau défi : faire le tour du monde à la voile en moins de 80 jours, sans escale ni assistance, à la manière d'un Phileas Fogg. C'est le trophée Jules-Verne, tenté à 19 reprises, remporté seulement 9 fois. L'exposition part du roman de Jules Verne et des premiers navigateurs à avoir fait le tour du monde pour nous amener à comprendre la difficulté d'un tel périple. Les maquettes des voiliers qui l'ont tenté, l'évolution des matériaux, du matériel et des équipements de bord permettent de comprendre comment on est passé d'une circumnavigation en 79 jours en 1993 pour Bruno Peyron à 40 jours en 2017 pour Francis Joyon ! Cette exposition est aussi l'occasion de visiter les collections du musée et notamment ses magnifiques proues sculptées en bois, issues des ateliers brestois. ■ **S. R.**

ECPAD

Bruno Peyron a remporté 3 fois le trophée (ici en 2002).

Musée national de la marine, château de Brest, bd de la Marine, du 28 juin au 3 janvier 2021. Rens. : 02.98.22.12.39.

« À toi appartient le regard »
Le musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac invite 26 artistes du monde entier dans une exposition résolument contemporaine centrée sur différents rapports à l'image photographique et filmique.
Musée du Quai-Branly, galerie Jardin, du 30 juin au 1er novembre. Rens. : 01 56 61 70 00.

Espions
Réalisée en partenariat avec les services du renseignement français et l'équipe de production de la série télé *Le Bureau des légendes*, cette exposition consacrée à l'espionnage est conçue comme une intrigue autour d'un mystérieux essai nucléaire. Lire notre reportage : sciav.fr/881espions
Cité des sciences et de l'industrie, Espions, 30, avenue Corentin-Cariou, du 27 juin au 8 novembre. Rens. : 01.85.53.99.74.

Dernier repas à Pompéi
Une déambulation thématique autour des différentes pratiques alimentaires romaines à travers quatre espaces — boulangerie, cuisine, salle à manger et « laboratoire » — qui permettent de comprendre comment les restes alimentaires ont été étudiés par les archéobotanistes.
Musée de l'Homme, 17, place du Trocadéro, du 8 juillet au 4 janvier 2021. Rens. : 01.44.05.72.72.

Paris (75) / Exposition

Pompéi

Un parcours immersif alliant archéologie et technologies pour plonger au cœur de Pompéi, du temps de sa splendeur et au moment de sa chute, grâce des projections, des créations sonores et des reconstitutions en 3D. L'inauguration prévue le 25 mars ayant été reportée au 1er juillet, une partie de cette grande exposition a été mise en ligne. « *Ces contenus permettront aux visiteurs de découvrir en avant-première les images des fouilles les plus récentes,, ainsi qu'une sélection des médias produits à l'occasion de l'exposition* », invite Massimo Osanna, commissaire de l'exposition et directeur général du Parc archéologique de Pompéi. Au programme : des vidéos sur les fouilles, la restauration d'une mosaïque et de maison ; des extraits du catalogue de l'exposition ; et, surtout, le parcours de l'exposition en audioguide (42 min). À découvrir ici : sciav.fr/881Pompei ■ **M. N.**

RMN

Vénus sur son char (boutique des feutriers).

Grand Palais, square Jean-Perrin, du 1er juillet au 27 septembre. Rens. : 01.44.13.17.17.

Toulouse (31)

Oka Amazonie
Nouvelle exposition dans le cadre de l'année internationale des langues autochtones qui interroge le devenir des cultures autochtones dans un monde globalisé ou encore la préservation de leurs patrimoines matériels et immatériels.
Muséum, 35, allées Jules-Guesde. Rens. : 05.67.73.84.84

Code alimentation
Scénarisée par des auteurs de science-fiction en collaboration avec des chercheurs, cette exposition propose d'appréhender l'alimentation du futur dans un parcours-jeu.
Quai des savoirs, allée Matilda, jusqu'au 6 septembre. Rens. : 05.67.73.84.84.

SÉBASTIEN CHAMPION / NATURIMAGES

Les épandages d'engrais chimiques ou de pesticides effectués ce printemps dans des régions autour de l'Île-de-France ont été responsables de 32 % des particules fines présentes dans l'air de Paris.

Pourquoi le confinement n'a-t-il pas fait baisser davantage la pollution ?

CONTEXTE. Airparif a enregistré une amélioration contrastée de la qualité de l'air en mars, avril et mai en Île-de-France.

Selon l'Association de mesure de la qualité de l'air à Paris (Airparif), durant le confinement, si les oxydes d'azote émis par le trafic routier ont baissé de 50 %, ce n'est pas le cas des particules fines d'un diamètre inférieures 10 micromètres (PM10) et à 2,5 micromètres (PM2,5). Chercheurs au laboratoire Edytem de l'université de Savoie Mont Blanc qui étudie les dynamiques environnementales, Christine Piot et Emmanuel Naffrechoux ont reconstitué les moyennes quotidiennes des concentrations en particules fines des 13 stations de mesure automatique de Paris et proche banlieue lors de ce printemps pour constater des concentrations similaires à celles de 2019, quand le trafic automobile était « normal ». D'où leur conclusion : « *Nous faisons l'hypothèse d'une contribution minoritaire du trafic routier aux valeurs réglementées de particules (PM10 et PM2,5) et d'une contribution majoritaire des sources à plus ou moins longue distance.* » En d'autres termes, la plus grande partie de la pollution mesurée a des causes extérieures à la région. Il s'agit esssentiellement des poussières émises lors de l'épandage d'engrais chimiques et de pesticides par l'agriculture, des rejets des industries et du chauffage au bois.

Ce résultat n'est pas complètement inédit. Avec l'apport du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (CNRS Paris-Saclay), Airparif avait déjà montré en 2010 que 68 % des particules fines provenaient de régions extérieures à l'agglomération. L'étude avait alors identifié le rôle important de l'agriculture à travers le nitrate d'ammonium et le sulfate d'ammonium issus des engrais chimiques et organiques. Ce qui explique la situation de ce printemps puisque l'agriculture est responsable de 32 % des particules fines présentes dans l'air de Paris. Autres sources majeures : les activités portuaires du nord de la France, du Benelux et de l'ouest de l'Allemagne, et les embruns océaniques venus de l'ouest de la France.

Reconstituer les trajectoires des masses d'air

Pour bien caractériser la qualité de l'air d'une ville, les seules données des émissions des différentes sources sont donc insuffisantes. Il manque un élément essentiel : la météo. Les vents dispersent les particules et gaz à des distances plus ou moins grandes, tandis que les pluies les plaquent au sol. Pour comprendre ce qui s'est passé lors de cette période de confinement, il faudra donc procéder à une reconstitution des trajectoires des masses d'air entre mars et avril, notamment lors du pic de pollution enregistré fin mars, ce que se promet de faire le laboratoire Edytem.

Cet exercice avait déjà été réalisé pour deux épisodes de pollution particulaire du 9 au 13 décembre 2013 et du 11 au 14 mars 2014. Ces pics étaient les conséquences d'une « inversion thermique » où une couche d'air chaud située entre 1500 et 300 mètres couvrait un air froid plaqué au sol, ce qui empêchait la dispersion des polluants. En mars 2014, le coupable était un flux de nord-est. La pollution est alors venue de l'Allemagne et des pays de l'Est. ■

Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

Le masque contre le covid-19 protège-t-il aussi des pollens ?

CONTEXTE. Fin mai le Réseau national de surveillance aérobiologique (RNSA) a émis une alerte rouge sur les pollens de graminées alors que les Français étaient encouragés à porter des masques dans les lieux publics.

FRÉDÉRIC HENDOUX/NATURIMAGES

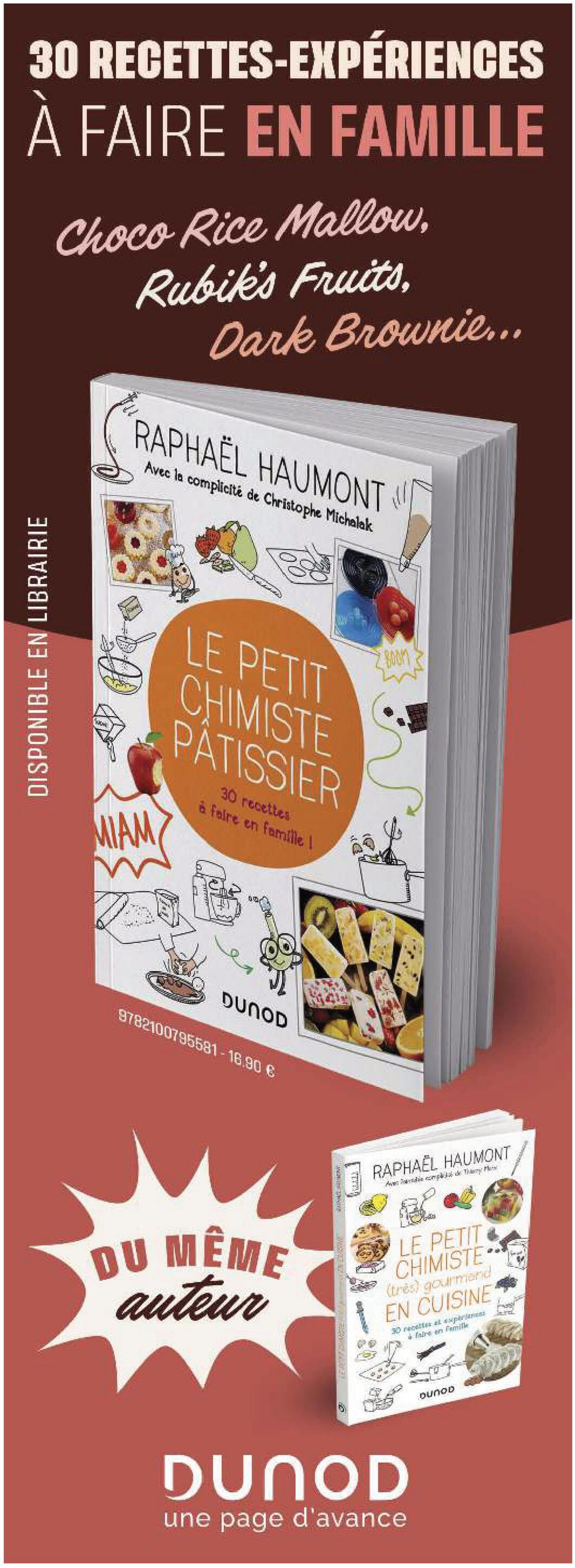
Le vent favorise la pénétration du pollen sous le masque.

Les pollens de graminées sont d'assez grosse taille et pourraient donc théoriquement être arrêtés par un masque, concède le Pr Antoine Magnan, pneumologue au CHU de Nantes, interrogé par *Sciences et Avenir*. « *Mais en réalité, le masque ne sert pas à grand-chose, car les pollens passent par les ouvertures* », tempère le médecin. C'est aussi ce que concluaient des chercheurs japonais en 2005. Dans leur étude, ils avaient envoyé 10 personnes se promener dans le même champ, avec ou sans masque et lunettes de protection, et munis d'un collecteur de particules aériennes. En comparant le nombre de pollens retrouvés dans les yeux et cavités nasales des sujets et le nombre de particules récupérées par la machine, les auteurs en ont déduit un taux d'invasion pollinique, c'est-à-dire la proportion de pollens passant la barrière du masque ou des lunettes. Résultat : ces protections n'avaient un effet significatif... qu'en l'absence de vent. « *Il semble que l'efficacité d'un masque facial et de lunettes dépende de la vitesse du vent. Si celle-ci est élevée, le pollen est dispersé rapidement et va facilement envahir le nez et les yeux à la faveur des espaces autour du masque et des lunettes* », concluaient les auteurs.

« *Le port de masque n'a jamais fait l'objet d'une recommandation formelle pour se protéger des allergies* », rappelle le Pr Magnan. Tout au plus cette mesure a-t-elle été mentionnée « *en cas de nécessité* », associée au port de lunettes de protection, par le ministère de la Santé en 2018. Pour se protéger, mieux vaut donc en rester aux recommandations officielles : se rincer les cheveux (pièges à pollens) le soir, ne pas faire sécher son linge en extérieur, fermer les fenêtres et adapter ses sorties en fonction du bulletin pollinique. ■

Camille Gaubert

@CamilleGaubertb



www.sciencesetavenir.fr

Sciences et Avenir au quotidien

ARCHÉOLOGIE

Le trésor de Fenn

Bernadette Arnaud, grand reporter
@NarudaaArnaud barnaud@sciencesetavenir.fr

DAL NEITZEL

Un coffre rempli de pièces d'or caché il y a une dizaine d'années par le millionnaire américain Forrest Fenn a été découvert dans les Rocheuses, mettant fin à l'une des plus grandes chasses au trésor aux États-Unis. sciav.fr/881-882Fenn

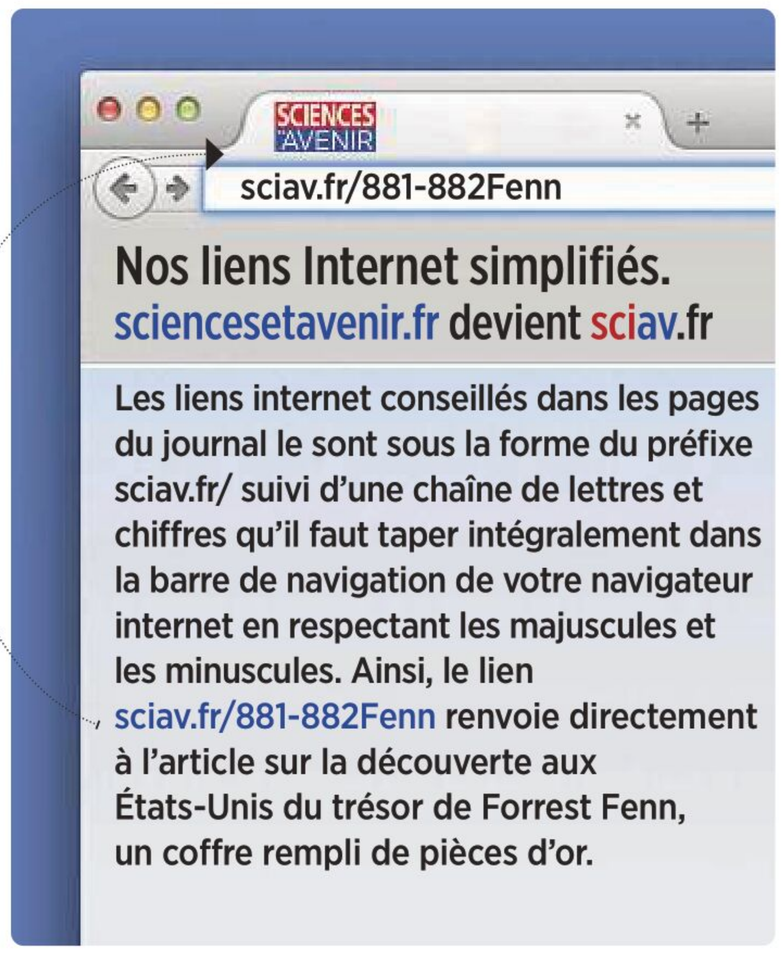
HIGH-TECH

Les ampoules électriques mouchardent

Arnaud Devillard, rédacteur high-tech
adevillard@sciencesetavenir.fr

BEN NASSI ET AL.

Des chercheurs israéliens ont découvert qu'il était possible de reconstituer des conversations tenues dans une pièce en captant à distance les microvibrations des ampoules allumées. sciav.fr/881-882Ampoules



Nos liens Internet simplifiés.
sciencesetavenir.fr devient sciav.fr

Les liens internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciav.fr/ suivi d'une chaîne de lettres et chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi, le lien sciav.fr/881-882Fenn renvoie directement à l'article sur la découverte aux États-Unis du trésor de Forrest Fenn, un coffre rempli de pièces d'or.

ESA

ESPACE

Lueur verte autour de la planète Rouge

Marine Benoit, rédactrice techno et fonda
@marin_eben mbenoit@sciencesetavenir.fr

Lorsque nous avons pu l'observer depuis l'espace, il est apparu que la Terre émettait en permanence une lueur verte. Elle est produite lorsque la lumière du Soleil interagit avec les atomes et les molécules de l'atmosphère. L'instrument NOMAD, de l'Institut royal d'aéronomie spatiale de Belgique (IASB), en orbite autour de Mars, vient d'en détecter une similaire sur notre voisine *(ci-dessus, vue d'artiste)*. *« Cela faisait près de 40 ans que nous avions prédit son existence »*, explique à *S. et A.* Jean-Claude Gérard, de l'université de Liège (Belgique), auteur principal de l'étude publiée dans *Nature Astronomy*. *« Grâce à TGO, nous avons pu enfin confirmer cette hypothèse. »* sciav.fr/881-882Vert

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Animaux. La domestication du cochon d'Inde

KAORU TACHIBANA / YOMIURI / THE YOMIURI SHIMBUN / AFP

Une analyse du génome de restes de cochons d'Inde précise l'histoire de la domestication et de la dissémination de ces rongeurs d'Amérique. sciav.fr/881-882Cochons

10 minutes

Nature. La PAC, fiasco pour la biodiversité

J-B NADEAU / ONLY FRANCE / AFP

La politique agricole commune (PAC) de 2014 a échoué à stopper l'érosion de la biodiversité, constate la Cour des comptes européenne. sciav.fr/881-882PAC

15 minutes

Santé. Un congrès sur la lutte contre le cancer

ASCO / TODD BUCHANAN

L'Asco 2020, le congrès international consacré au cancer, s'est déroulé en ligne au mois de mai. Retrouvez le dossier que lui a consacré *Sciences et Avenir*. sciav.fr/881-882ASCO

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE
dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Jambes légères
VIGNE ROUGE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~10,10€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3).*

5€ 45 gélules ~~10,30€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~12,00€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~14,20€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité**. Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~10,70€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~10,40€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**.

*(7). Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~10,30€~~

Minceur
NOPAL BIO

Absorbe une partie des **graisses** et des **sucres ingérés**, limitant ainsi l'apport calorique.

6€ 45 gélules ~~11,30€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**. *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~15,10€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~11,30€~~

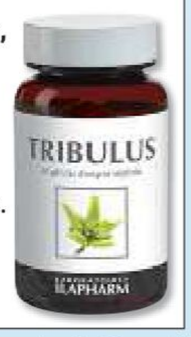
Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**. *(1)*

6€ 10 ampoules ~~13,10€~~

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.



7€ 60 gélules ~~15,10€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**. *(2), (8).*

6€ 45 gélules ~~10,60€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations.

Gardez le plaisir de bouger !

5€ 45 gélules ~~10,20€~~

Bonne vision
SPIRULINE BIO

Préservez votre vision grâce à la **Vitamine A** issue du **Bêta-carotène** de la Spiruline. *(1), (6).*

6€ 45 comprimés ~~10,50€~~

Vos 3 Cadeaux

LE VENTILATEUR "CANICULE"

OFFERT

Dimensions : *13 x 14 x 6 cm.*
Matière : *Fer.* ***Couleur :*** *noir.*
Alimentation : *câble USB, embout USB.*

+

Les Frais de Port Dès 15€ d'achat **OFFERTS** **0€**

+

dès **5€** **Tous vos produits** ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~10,30~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir	~~13,10~~	6,00€
Vigne Rouge BIO	~~10,10~~	5,00€
Silicium Organique & Vit. C	~~14,20~~	7,00€
Tribulus	~~15,10~~	7,00€
Mon Ventilateur "Canicule"		OFFERT
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~68,60~~	30,00€

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des anti-dépresseurs. (5) Contient de la caféine (45 mg par jour). (6) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (7) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (8) Ne pas associer avec des anti-coagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ Mme ☐ Mr

Nom, Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....
Votre date d'anniversaire : |_|_| |_|_| 19 |_|_|
E-mail* : .....
pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**
et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**
**Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**
N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Date d'expiration : |_|_|_|_|
Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Versailles B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Vigne Rouge BIO	PVRB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Nopal BIO	PNOB45		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Spiruline BIO	PSNB45		6€	
☐ Je reçois **GRATUITEMENT** mon **VENTILATEUR** et mon **CATALOGUE**				OFFERTS
☐ Ma commande atteint 15€ , **j'économise 5,80€ sur les frais de port**				OFFERTS
☐ Ma commande est inférieure à 15€, **je rajoute 5,80€**				
CODE PRIVILÈGE : **CS409**			**TOTAL À RÉGLER**	.....€

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS
*Envoyez votre **réglement par chèque**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad · synadiet · Traitement Rapide 24h COLIECO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h-13h et 14h-18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

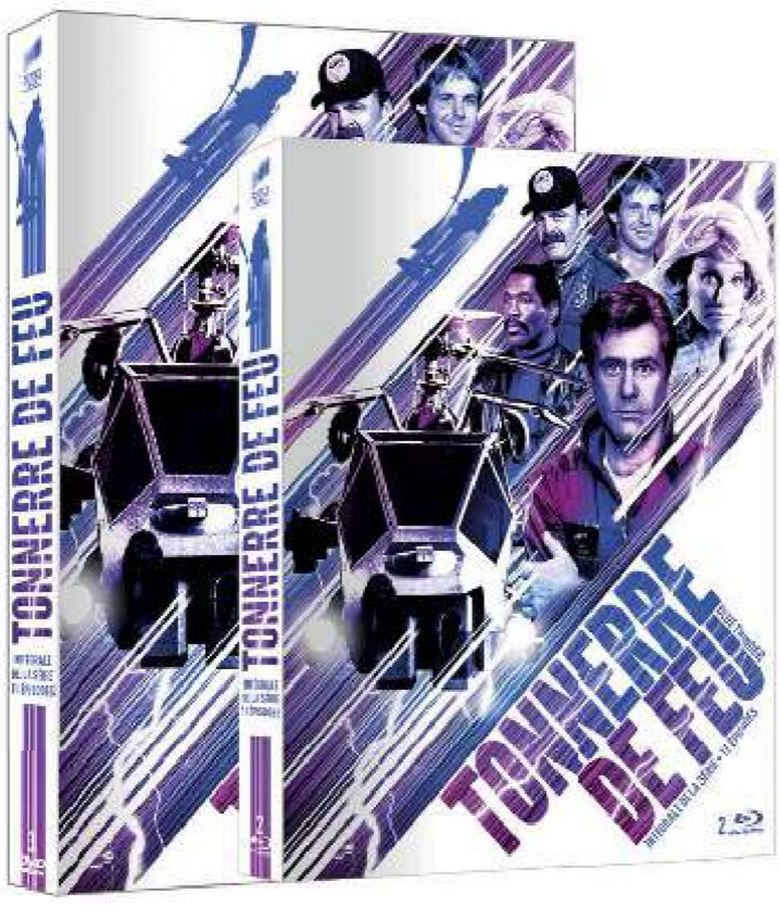
Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

SUPERCOPTER

(AIRWOLF)

L'INTÉGRALE DE LA SÉRIE EN VERSION RESTAURÉE HAUTE-DÉFINITION
SAISONS 1 À 4 - 79 ÉPISODES - COFFRET 14 BLU-RAY

• Version française d'époque + version originale sous-titrée français • Restauration en Haute-Définition
• Version intégrale inédite de l'épisode pilote • *Supercopter : l'ère des super machines* par Alain Carrazé
• *Supercopter* par Laurent Aknin • *Tonnerre de feu* : l'intégralité du pilote de la série • Bandes-annonces • Livret 96 pages : Le guide la série



POUR LA 1ÈRE FOIS EN FRANCE

TONNERRE DE FEU

L'INTÉGRALE DE LA SÉRIE
EN VERSION RESTAURÉE HAUTE-DÉFINITION
11 ÉPISODES • COFFRET 2 BLU-RAY OU 3 DVD

DISPONIBLES LE

8 SEPTEMBRE 2020

ELEPHANT Classics FILMS

UNIVERSAL
A COMCAST COMPANY

SONY PICTURES HOME ENTERTAINMENT